

DEFINICIÓN DE UN PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO PARA LA CALIBRACIÓN DEL  
VOLUMEN ÚTIL EN UN CUARTO FRÍO HACIENDO USO DE UN DATALOGGER  
COMO HERRAMIENTA DE ADQUISICIÓN DE DATOS BASADO EN LA GUÍA  
TRADUCCIÓN GUÍA DKD-R-5-7 CALIBRACIÓN DE CÁMARAS CLIMÁTICAS,  
INM/GTM T-TH/03, BOGOTÁ D.C. 2019-07-29

Como proyecto de grado para optar al título de:

INGENIERO FÍSICO

Por:

LUIS DAVID GUTIÉRREZ LONDOÑO

Director:

M.Sc. WILLIAM OLARTE CORTÉS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

JULIO 2020

## **DEDICATORIA**

A mis padres, que con su esfuerzo y dedicación me permitieron disfrutar de las inagotables experiencias de la universidad y a mis hermanos, que con su ejemplo me motivaron a seguir por la senda del estudio.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios

*Por brindarme tranquilidad y sabiduría en momentos de angustia.*

A mi Director de tesis, M. Sc. William Olarte Cortés

*Por su guía, comprensión, aportes y consejos a lo largo de este proceso.*

A Jerónimo Martins Colombia SAS

*Por su disposición, al permitirnos el ingreso de sus cuartos fríos de las tiendas ARA en la región I.*

## Tabla de contenido

<b>1. Resumen .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Abreviaturas .....</b>	<b>5</b>
<b>4. Objetivos.....</b>	<b>6</b>
4.1. Objetivo general .....	6
4.2. Objetivos específicos .....	7
<b>5. Marco teórico .....</b>	<b>7</b>
5.1. Definiciones .....	7
5.2. Importancia del frío en los alimentos.....	9
5.3. Humedad relativa en los alimentos .....	11
5.4. Recomendaciones de temperatura y humedad relativa para refrigeración y congelación en algunos alimentos .....	12
5.4.1. Frutas y hortalizas .....	12
5.4.2. Productos cárnicos.....	13
5.5. Pérdidas y desperdicios de alimentos en Colombia y el Eje Cafetero debido a un mal proceso de almacenamiento .....	14
5.6. Equipo de adquisición de datos.....	15
5.7. Aportes de incertidumbre.....	15
5.7.1. Incertidumbre Tipo A.....	15
5.7.2. Incertidumbre Tipo B .....	16
a. Incertidumbre por Especificación.....	16
b. Incertidumbre por Resolución .....	17
c. Incertidumbre por Inhomogeneidad Espacial.....	17
d. Incertidumbre por Inestabilidad Temporal .....	18
e. Incertidumbre por Efecto de Carga .....	18
5.7.3. Incertidumbre Combinada.....	19
5.7.4. Grados de Libertad y Factor de Cobertura .....	19
5.7.5. Incertidumbre Expandida .....	20
5.8. Corrección a la indicación del equipo bajo prueba .....	21
<b>6. Metodología.....</b>	<b>21</b>
6.1. Definir los máximos y mínimos de temperatura y humedad relativa .....	21
6.2. Definir el número de datalogger a utilizar .....	21

6.3. Métodos de calibración .....	22
6.3.1. Método A – Cámara climática descargada.....	22
6.3.2. Método B – Cámara climática cargada .....	22
6.3.3. Método C – Puntos de medición individuales.....	23
6.4. Determinación del volumen útil para Métodos A y B .....	23
6.5. Determinación por puntos individuales (Método C) .....	24
<b>7. Resultados y discusiones .....</b>	<b>24</b>
7.1. Incertidumbre por especificación y por resolución.....	25
7.2. Resultado de calibración de la Tienda T0460.....	26
7.2.1. Aportes de incertidumbre y comportamiento en la ubicación de referencia del cuboide .....	29
7.2.2. Aportes de incertidumbre y comportamiento en la parte inferior del cuboide .....	32
7.2.3. Aportes de incertidumbre y comportamiento en la parte superior del cuboide .....	35
7.2.4. Corrección a la indicación.....	39
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>40</b>
<b>9. Referencias .....</b>	<b>41</b>
<b>Anexo A .....</b>	<b>43</b>
<b>Anexo B.....</b>	<b>44</b>
<b>Anexo C .....</b>	<b>45</b>
<b>Anexo D .....</b>	<b>46</b>

## **1. Resumen**

Los productos perecederos como los alimentos, en condiciones óptimas de almacenamiento pueden alargar su vida útil hasta por semanas. Dicho almacenamiento se debe hacer bajo temperaturas de refrigeración y/o congelación, debido a que el frío ralentiza el crecimiento microbiano, lo que reduce considerablemente el riesgo a contraer enfermedades por transmisión de alimentos a causa de las toxinas generadas por las bacterias. En Colombia, en el 2019 casi la mitad de los casos involucrados debido a enfermedades producidas por alimentos surgieron desde los hogares. Dependiendo del producto y su estado en almacenamiento, estos se pueden conservar en refrigeración o congelación. Para mantener estas condiciones, comúnmente son usadas cámaras o cuartos fríos de temperatura controlada en los cuales influyen más factores como lo es la humedad relativa. Los valores establecidos para ambas magnitudes físicas deben ser los requeridos y apropiados dependiendo del producto a almacenar, con el fin de garantizar la adecuada conservación de estos. Una de las principales razones por las que en el 2016 el eje cafetero ocupó el tercer y segundo lugar de las regiones del país con mayor número de pérdidas y desperdicios, respectivamente, fue debido al inadecuado manejo poscosecha de los productos y a su mal almacenamiento. Dado lo anterior, se realizó la calibración de un cuarto frío de la tienda ARA T0460 del municipio de Cartago, con el fin de garantizar el mantenimiento de las condiciones de temperatura y humedad relativa durante todo el tiempo que los productos se encuentren en el cuarto de refrigeración. Dicha calibración se hizo por medio de un equipo de adquisición de datos datalogger Uni-T UT330B, tomando como base la guía Traducción DKD-R-5-7 Calibración de Cámaras Climáticas, Bogotá 2019, la cual indica tres métodos para calibración dependiendo de las condiciones del cuarto o necesidades del usuario, disposición de los equipos de medición y cálculos para las incertidumbres; se usaron nueve dataloggers en total, distribuidos por todo el cuarto de refrigeración de la siguiente manera: cuatro en la parte superior, cuatro en la parte inferior y uno en el centro del cuarto. Se evidenció de forma general que, la temperatura se mantuvo dentro de los límites recomendados de refrigeración durante el tiempo de estudio, mientras que la humedad relativa presentó inestabilidad.

## **2. Introducción**

La importancia de mantener los productos perecederos en un rango de temperatura y humedad relativa específico es tal, que mantienen su calidad y alargan su ciclo de vida. Generalmente, los cuartos fríos se dividen en refrigeradores (semanas de almacenamiento) y congeladores (hasta meses de almacenamiento) dependiendo de la temperatura y humedad relativa requerida. Los refrigeradores mantienen temperaturas muy cercanas a los 0 °C y los congeladores mantienen temperaturas de hasta -18 °C. Es necesario iniciar un proceso de control en la temperatura y humedad relativa de los productos perecederos tan pronto sean retirados de su medio natural, con el fin de evitar un rápido desarrollo microbiano, rápido

deterioro, cambios de color, procesos químicos y biológicos degenerativos y mantenerlos libres de agentes contaminantes. Inclusive a temperaturas por debajo de los 0 °C productos como: alimentos, medicina, flores, entre otros, están expuestos a cambios en sus propiedades, por esta razón es necesario implementar un modelo que tenga las condiciones necesarias para verificar los rangos de temperatura y humedad relativa, basándose en normas y lineamientos nacionales e internacionales. Por consiguiente, se plantea diseñar un procedimiento de calibración del volumen útil dentro de un cuarto frío, haciendo uso de dataloggers de temperatura y humedad relativa basado en la guía Traducción DKD-R-5-7 Calibración de Cámaras Climáticas. INM/GTM T-TH/03. Bogotá, D.C. 2019-07-29 y realizar un estudio en Pereira o alrededores para validar el procedimiento establecido.

### 3. Abreviaturas

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
$u$	Incertidumbre de medición estándar
$U$	Incertidumbre de medición expandida
$^{\circ}\text{C}$	Grado Celsius
$\%RH$	Porcentaje de humedad relativa
$T$	Temperatura
$h$	Humedad Relativa
$\delta T_{inh}$	Inhomogeneidad espacial de la temperatura
$\delta h_{inh}$	Inhomogeneidad espacial de la humedad relativa
$T_{ref}/T_{ref,carga}$	Temperatura en la ubicación de referencia (sin carga / con carga)
$h_{ref}/h_{ref,carga}$	Humedad relativa en la ubicación de referencia (sin carga / con carga)
$T_{inest}$	Inestabilidad temporal de la temperatura
$h_{inest}$	Inestabilidad temporal de la humedad relativa
$\bar{T}$	Temperatura promedio del equipo patrón
$\bar{h}$	Humedad relativa promedio del equipo patrón
$\overline{T_{bp}}$	Temperatura promedio del equipo bajo prueba
$\overline{h_{bp}}$	Humedad relativa promedio del equipo bajo prueba
$\delta T_{res}$	Resolución del equipo patrón de temperatura
$T_{rescuarto}$	Resolución del indicador de temperatura del cuarto frío
$h_{res}$	Resolución del equipo patrón de humedad relativa
$h_{rescuarto}$	Resolución del indicador de humedad relativa del cuarto frío
$T_i$	Valor medido de temperatura en el cuarto frío para la ubicación $i$ ( $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ )

$h_i$	Valor medido de humedad relativa en el cuarto frío para la ubicación $i$ ( $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ )
$T_{efcarga}$	Efecto de la carga en la temperatura
$h_{efcarga}$	Efecto de la carga en la humedad relativa
$u_A(T_i)$	Incertidumbre Tipo A de temperatura para la ubicación $i$ ( $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ )
$u_A(h_i)$	Incertidumbre Tipo A de humedad relativa para la ubicación $i$ ( $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ )
$u_A(T_{sec})$	Incertidumbre Tipo A para la temperatura en la sección $sec$ ( $sec = inferior, superior$ )
$u_A(h_{sec})$	Incertidumbre Tipo A para la humedad relativa en la sección $sec$ ( $sec = inferior, superior$ )
$T_{EMP}$	Error Máximo Permitido de la temperatura del equipo patrón
$h_{EMP}$	Error Máximo Permitido de la humedad relativa del equipo patrón
$u_C(T)$	Incertidumbre combinada de la temperatura
$u_C(h)$	Incertidumbre combinada de la humedad relativa
$v_{eff}(T)$	Grados efectivos de libertad de la temperatura
$v_{eff}(h)$	Grados efectivos de libertad de la humedad relativa
$u_{incer}(T)$	Cada una de las incertidumbres estándar asociadas a la temperatura
$u_{incer}(h)$	Cada una de las incertidumbres estándar asociadas a la humedad relativa
$v_{incer}(T)$	Grados de libertad de cada incertidumbre asociada a la temperatura
$v_{incer}(h)$	Grados de libertad de cada incertidumbre asociada a la humedad relativa
$k$	Factor de cobertura
$n$	Número de mediciones

## 4. Objetivos

### 4.1. Objetivo general

Definir un procedimiento específico que permita calibrar el volumen útil de los cuartos fríos empleando en la toma de datos un datalogger como herramienta de adquisición, basándose en la guía Traducción Guía DKD-R-5-7 Calibración de Cámaras Climáticas, Bogotá 2019.



## 4.2. Objetivos específicos

- Revisar y analizar las normas y recomendaciones nacionales e internacionales de productos perecederos, que requieran del almacenamiento bajo condiciones de refrigeración o congelación mediante cuartos fríos.
- Comprobar los estándares definidos por las autoridades nacionales e internacionales para este tipo de equipos.
- Seleccionar el datalogger adecuado que permita adquirir y almacenar los valores de temperatura y humedad relativa en los cuartos fríos.
- Diseñar el procedimiento para la adquisición de datos en un cuarto frío.
- Realizar un programa en Excel que permita almacenar y tabular los datos recopilados con el fin de calibrar el volumen útil dentro del cuarto frío basado en la guía Traducción Guía DKD-R-5-7 Calibración de Cámaras Climáticas, Bogotá 2019.
- Diseñar los formatos para entrega de resultados.
- Buscar en la región una empresa que permita realizar la estimación del volumen útil en su cuarto frío, con el fin de garantizar su funcionamiento según la guía Traducción Guía DKD-R-5-7 Calibración de Cámaras Climáticas, Bogotá 2019.
- Presentar resultados de pruebas realizadas en campo.

## 5. Marco teórico

### 5.1. Definiciones

**Almacenamiento congelado:** conservación de alimentos en una cámara climática con temperaturas menores a  $-18^{\circ}\text{C}$ .

**Almacenamiento refrigerado:** conservación de alimentos en una cámara climática con temperaturas cercanas a los  $0^{\circ}\text{C}$

**Bacterias:** las bacterias son microorganismos que en su mayoría son inofensivos, algunos indican presencia de suciedad, organismos patógenos, deterioro y algunos causan enfermedades.

**Brote epidémico:** aparición repentina de una misma enfermedad debida a una infección asociada con el tiempo y en un lugar específico.

**Cadena de frío:** la cadena de frío está formada por cada eslabón que compone el proceso de refrigeración o congelación para que los productos perecederos lleguen de forma segura al consumidor. Es de vital importancia que la cadena de frío se mantenga intacta durante la producción, transporte, almacenamiento y venta; así se garantiza que el producto en cada proceso se mantuvo en un rango estimado de temperatura y humedad relativa y conservó su inocuidad.

**Cámara climática:** instalaciones utilizadas para simular condiciones controladas de temperatura y humedad relativa en su interior.

**Datalogger:** dispositivo electrónico con sensor propio. Permite registrar y almacenar datos de forma continua de una serie de parámetros para el cual fue programado.

**Desperdicios de alimentos:** se refiere a alimentos para consumo humano que se desechan (partes tanto comestibles como no comestibles) de manera intencional. Ocurre al final de la cadena alimentaria (distribución y consumo), en relación directa con el comportamiento de vendedores mayoristas y minoristas, servicios de venta de comida y consumidores.

**Humedad relativa:** cantidad de agua en el aire en forma de vapor. La humedad relativa depende de la temperatura y la presión del sistema de interés.

**Incertidumbre de medición:** intervalo de valores del valor estimado dentro del cual se encuentra el valor considerado como verdadero.

**Inocuidad de alimentos:** conjunto de condiciones y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de alimentos para asegurar que una vez ingeridos, no representen un riesgo para la salud.

**Levaduras:** nombre genérico de ciertos hongos unicelulares de forma ovoidea, producen enzimas capaces de descomponer diversos cuerpos orgánicos.

**Mohos:** hongos filamentosos de pequeño tamaño que crecen en la superficie de los alimentos y otros materiales orgánicos, en condición de humedad o descomposición.

**Microorganismos patógenos:** organismos pequeños que solo pueden ser observados mediante un microscopio, los cuales causan enfermedades en los seres humanos.

**Pérdidas de alimentos:** se refiere a alimentos destinados al consumo humano que, debido al mal funcionamiento de los sistemas de producción y de distribución de los mismos, disminuyen en cantidad o calidad. Se centra al inicio de la cadena alimentaria durante las etapas de producción, poscosecha, almacenamiento y transporte.

**Propiedades organolépticas:** propiedades del alimento que pueden ser captadas por nuestros sentidos (sabor, olor o textura).

**Resolución de un instrumento de medición:** es la unidad más pequeña de variación de la magnitud medida del instrumento de medición.

**Toxina:** sustancia producida por plantas y animales, capaces de causar enfermedades a los seres humanos. En su mayoría provienen de microorganismos como bacterias.

**Volumen útil:** el volumen útil es el volumen parcial de la cámara climática abarcada por las ubicaciones de medición de los sensores utilizados para calibración. Según la

disposición de los lugares de medición, el volumen útil puede diferir considerablemente del volumen total de la cámara. La calibración de la cámara es únicamente válida para este volumen útil.

## **5.2. Importancia del frío en los alimentos**

La disminución de la temperatura tiene importantes beneficios para extender la vida útil de los alimentos, debido a la preservación que esto genera en sus propiedades organolépticas, y a su vez ayuda a reducir la población microbiana y minimiza la reproducción. Dependiendo del tiempo y la temperatura que requieran en el momento de almacenaje, se emplean dos tipos de preservación por frío: almacenamiento refrigerado o almacenamiento congelado.

Los alimentos contienen diferentes tipos de bacteria, mohos y levaduras que pueden producir alteraciones dependiendo de sus condiciones adecuadas de crecimiento, un ejemplo de éstas es la temperatura, de manera que el método más usado para la conservación de productos perecederos es la aplicación de aire frío en el recinto donde éstos se encuentran almacenados, ya que la disminución de la temperatura reduce considerablemente la actividad microbiana, ocasionando un incremento en la vida útil en los alimentos y reduce el riesgo microbiológico. Cada microorganismo presenta una temperatura óptima de crecimiento y una temperatura mínima, bajo la cual no pueden reproducirse como se muestra en las siguientes figuras.

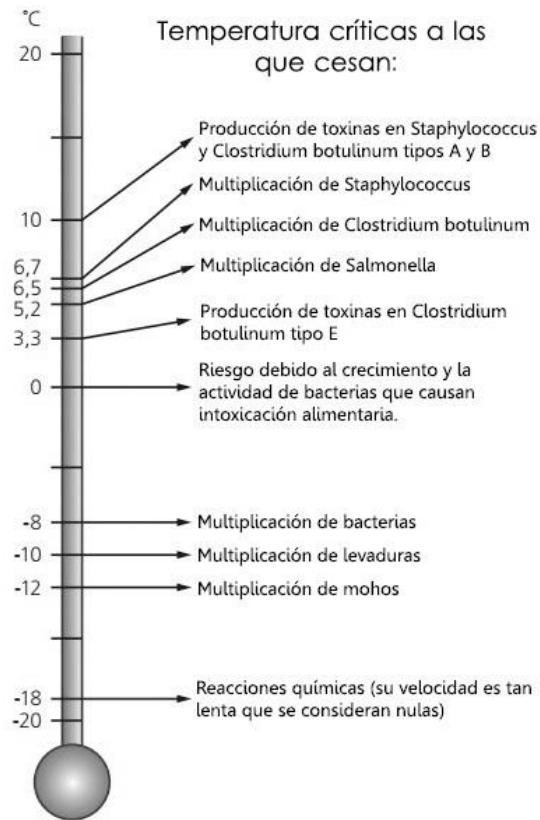


Figura 1. Cese de crecimiento de microorganismos en los alimentos en función con la temperatura en grados Celsius. [1]

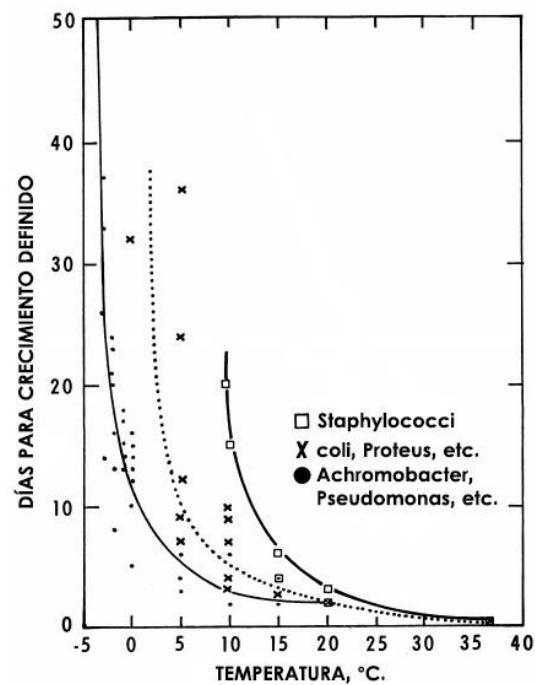


Figura 2. Gráfico del crecimiento en días de tres grupos de bacterias, en función de la temperatura en grados Celsius. [2]

El crecimiento microbiano no es un inconveniente en los alimentos congelados, de hecho, se considera un crecimiento nulo de microorganismos en ese estado. No obstante, los alimentos en estado de refrigeración pueden ralentizar o prevenir la manifestación de la mayoría de los microorganismos patógenos, pero algunos continuarán multiplicándose, es decir, el crecimiento disminuye, pero no desaparece.

Los diferentes tipos de bacterias mostradas en las gráficas anteriores, en una proporción adecuada de ingesta pueden provocar ETA (enfermedades transmitidas por alimentos) que tienen gran impacto en la salud pública y afectan principalmente a niños pequeños. Aunque no siempre el desarrollo de las toxinas que producen las bacterias se debe al uso inadecuado de almacenamiento, este es uno de los factores con mayor impacto para prevenir su aumento, también pueden producirse por deficientes prácticas de higiene durante el proceso de elaboración del alimento. Las toxinas del *Staphylococcus* pueden producir náuseas, diarreas y vómitos de manera intensa, pero de corta duración [3]. La aparición del *Clostridium botulinum* suele ser grave y mortal pero no se presenta de manera usual, el crecimiento de la bacteria y la formación de sus toxinas suele presentarse en alimentos como: espinacas, remolacha, pecados y sus derivados y productos cárnicos. Puede producir parálisis flácida junto a insuficiencia respiratoria, también puede producir vómito, diarrea, fatiga, visión borrosa y sequedad de boca [4]. Los alimentos contaminados por *Salmonella* generalmente tienen aspecto y olor normal, pero producen una enfermedad llamada Salmonelosis que produce síntomas que como la fiebre, dolor abdominal, diarrea, náuseas y en ocasiones vómito, suele ser causada por principalmente por el huevo, carne aves de corral y leche [5]. La *Escherichia coli* produce una toxina llamada Shiga que produce calambres abdominales, diarrea, fiebre y vómito, este patógeno se presenta principalmente en el ganado bovino, aunque también se puede presentar en otros mamíferos [6].

En Colombia, los principales causantes de brotes de ETA en el 2010 fueron *Staphylococcus*, *E. coli* y *Salmonella* [7] y en el 2017 el SIVIGILA notificó 867 casos de brotes de ETA los cuales afectaron a 7.799 personas donde el 56,4 % de los casos son proveniente de Bogotá, Cesar, Sucre, Antioquia, Valle del Cauca, Atlántico, Magdalena y Nariño donde el mayor número de brotes ocurrieron debido a la inadecuada conservación (18.3%), inadecuado almacenamiento (15.7%) y falla en la cadena de frío (14.6%) [8]. Para el 2019 hubo 967 brotes de ETA en los cuales se vieron involucradas 11.222 personas, donde el mayor número de brotes se presentaron en hogares (49,4 %) y restaurantes (16,1 %) [9]. Poco menos de la mitad de los brotes se presentaron como consecuencia del mal uso previsto de los alimentos en los hogares, ya que la población en su gran mayoría no se percata de cuál es el debido manejo que se le debe dar al producto adquirido.

### **5.3. Humedad relativa en los alimentos**

La humedad relativa es otro parámetro que se debe tener en cuenta a fin de preservar la calidad de los alimentos durante el almacenamiento, en este caso, el crecimiento de microorganismos se presenta en la superficie de los alimentos. Una humedad relativa baja, puede causar deshidratación, a su vez, una humedad relativa alta facilita el crecimiento microbiano. Margarida da Silva y Artur de Melo (2010) afirman que es recomendable que la humedad relativa no fluctúe más de 3 a 5% y, en general, se mantenga entre 80 y 90%, en el estado de refrigeración. [10]

La relación entre temperatura y humedad relativa se proporciona dependiendo del producto en entornos de almacenamiento. Estos factores ambientales actúan dando menos oportunidad al desarrollo patógeno al conservar la integridad de los alimentos, las fluctuaciones en temperatura y humedad pueden generar problemas importantes para la salud pública.

#### **5.4. Recomendaciones de temperatura y humedad relativa para refrigeración y congelación en algunos alimentos**

La normativa colombiana es muy endeble a la hora de indicar los valores de temperatura, humedad relativa y tiempo de almacenamiento para los productos alimenticios, sin embargo, existen entidades como la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y algunas recomendaciones de otros países que ayudan a mantener inocuos los alimentos, apartándolos de su descomposición. Las siguientes tablas, muestran las condiciones de almacenamiento que deben tener algunos alimentos para su conservación.

##### **5.4.1. Frutas y hortalizas**

Tabla 1

*Condiciones recomendadas para la conservación de frutas y hortalizas en almacenamiento refrigerado*

<b>Producto</b>	<b>T [°C]</b>	<b>HR [%]</b>	<b>Vida útil (días)</b>
Ajo	0	65 a 70	180 a 210
Arveja	0	95 a 98	7 a 14
Brócoli	0	95 a 100	14 a 21
Cebolla bulbo	0	65 a 70	30 a 240
Cebollino	0	95 a 100	14 a 21
Durazno	-0.5 a 0	90 a 95	14 a 28
Espárrago	0 a 2	95 a 100	14 a 21

Espinaca	0	95 a 100	10 a 14
Frambuesa	-0.5 a 0	90 a 95	2 a 3
Kiwi	-0.5 a 0	90 a 95	90 a 150
Lechuga	0 a 2	98 a 100	14 a 21
Mora	-0.5 a 0	90 a 95	2 a 3
Naranja	0 a 9	85 a 90	56 a 84
Pera	-1.5 a 0.5	90 a 95	60 a 210
Uva	-0.5 a 0	90 a 95	14 a 56
Yuca	0 a 5	85 a 96	30 a 60

*Nota.* Cantwell, 1999; Sargent et al., 2000; McGregor, 1987. Recuperado de FAO [11]. Ver tabla completa en Anexo A

#### 5.4.2. Productos cárnicos

Tabla 2

*Condiciones recomendadas para productos cárnicos y pescado en almacenamiento refrigerado*

Producto	Temperatura [°C]	HR [%]	Vida útil
Carne de res	-2 a 1.1	88 a 92	1 a 6 semanas
Carne de cerdo	-2 a 1.1	85 a 90	3 a 12 días
Aves	-2 a 0	85 a 90	1 semana
Pescado fresco	0.5 a 4.4	90 a 95	5 a 20 días
Pescado ahumado	4.4 a 10	50 a 60	6 a 8 meses

*Nota.* Adaptado de Potter (1986) apud Ordoñez et al, (2005). Recuperado de Conservação de Alimentos (2010) [12]

Tabla 3

*Tiempo de almacenamiento para productos cárnicos con temperatura de refrigeración de 2 °C hasta 8 °C y temperatura de congelación de -18 °C*

Producto	Refrigeración	Congelación
Carne de ternera (filete, asado, etc.)	3 a 5 días	6 a 12 meses
Carne de cerdo (chuletas)	3 a 5 días	4 a 6 meses
Carne de pollo o pavo	1 a 2 días	12 meses

*Nota.* Extraído de Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus cifras en inglés). Principios básicos en la preparación de los alimentos inocuos. [13]

En Colombia la Resolución 242 de 2013 indica que las canales de aves y sus partes en refrigeración deben mantener una temperatura de -2 a 4 °C, los productos cárnicos comestibles deben mantener una temperatura de refrigeración máxima de 4 °C y en congelación la temperatura para canales de aves, sus partes y productos cárnicos comestibles debe ser igual o menor a -18 °C [14]. A su vez, la NTS-USNA 007 dice que pescados y mariscos deben ser almacenados a una temperatura de refrigeración máxima de 2 °C y en congelación inferior a -18 °C. [15]

### **5.5. Pérdidas y desperdicios de alimentos en Colombia y el Eje Cafetero debido a un mal proceso de almacenamiento**

En Colombia el desperdicio de alimentos poscosecha presenta cifras alarmantes según algunas investigaciones. De acuerdo con el Ministerio de Salud y Protección Social y la FAO, en Colombia se perdieron o desperdiciaron 1.426.932 toneladas de frutas y verduras, una cifra que equivale al 39% de frutas y verduras en 2010.

Además, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) en el 2016 estimó que en Colombia se pierden o se desperdician 9.76 millones de toneladas de comida al año (34% del total de los alimentos que el país podría consumir durante un año), de ese 34% el 19.8% (1.93 millones de toneladas) se pierde en el proceso de poscosecha y almacenamiento. Algunos ejemplos mostrados a continuación, evidencian los porcentajes de pérdidas más relevantes de algunos productos:

- Raíces y tubérculos: se pierde y desperdicia el 49%
- Lácteos: se pierde y desperdicia el 23%
- Pescados: se pierde y desperdicia el 15%
- Granos: se pierde y desperdicia el 13%
- Cárnicos se pierde y desperdicia el 12%
- Cereales: se pierde y desperdicia el 8%

El Eje Cafetero ocupa el tercer lugar de las regiones del país con mayor número de pérdidas que equivalen a 1.066.965 toneladas (17.1%) y el segundo lugar con más desperdicios 645.654 toneladas (18.3%). [16]

Con el fin de disminuir dichos porcentajes se busca el control de las adecuadas condiciones de almacenamiento ya que, esto representa uno de los eslabones más importantes de la cadena de frío. Habitualmente son usados cuartos o cámaras frías para esta función donde, la temperatura de estos debe ser controlada rigurosamente puesto que, es un factor crítico en los sistemas de producción y distribución. Dicha temperatura se debe mantener dentro de un intervalo adecuado dependiendo de cada producto; de esta manera se evita la rotura de la cadena, se reduce la pérdida y/o desperdicio, garantizando



la calidad y vida útil de los productos. La calibración de los cuartos fríos asegura que las condiciones de refrigeración y/o congelación de los diferentes productos se mantengan estables durante todo el tiempo que estos requieran almacenamiento. Esta calibración debe ser realizada basándose en guías y normativas que abarcan este tipo de procesos, y así disminuir el porcentaje de pérdidas y desperdicio de los alimentos.

## **5.6. Equipo de adquisición de datos**

Con el fin de obtener los datos de temperatura y humedad relativa en cada uno de los puntos del cuarto frío se emplea un Datalogger Uni-T UT330B (consultar ficha técnica en Anexo B) que permite registrar de forma digital los valores de temperatura y humedad relativa. Sus características son acordes a la cantidad de datos que se deben almacenar dentro del proceso de calibración, asimismo, presenta resistencia al agua y al polvo IP67 (el polvo no entra en ninguna circunstancia y debe resistir la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos), cuenta con almacenamiento automático, transmisión de datos USB y un software que permite exportar los datos obtenidos hacía una hoja de cálculo.

## **5.7. Aportes de incertidumbre**

Los valores que se obtienen a través del mensurando tienen consigo una serie de parámetros que no permiten conocer el valor verdadero de la medida, es decir, las mediciones en su totalidad no son exactas, es por ello, que es importante calcular las incertidumbres. El cálculo de las estas refleja la duda acerca de la veracidad de los resultados obtenidos.

Los aportes de incertidumbre se realizan a partir de la medida de temperatura y humedad relativa haciendo uso de los dispositivos de medición, del análisis estadístico de la serie de observaciones, del aporte de la distribución temporal, del aporte espacial en el volumen útil y de los efectos de carga.

En general, las incertidumbres dependen del estado actual del cuarto, y las mediciones que se lleven a cabo deben ser ejecutadas bajo las condiciones normales de este, por lo tanto, debe ser descrito de forma detallada.

### **5.7.1. Incertidumbre Tipo A $u_A(T)$ ; $u_A(h)$**

Durante las mediciones, cada serie de datos obtenidos presenta variaciones entre sí a causa de factores externos que no se pueden controlar, por lo cual es necesario calcular una incertidumbre relacionada con la repetibilidad de los datos.

La incertidumbre Tipo A es la evaluación de la incertidumbre por medio del análisis estadístico de una serie de observaciones bajo las mismas condiciones de medida. En este caso, es necesario calcular la incertidumbre Tipo A para cada equipo en la

ubicación de medición  $i$ , teniendo en cuenta que estas se realizan en tres secciones diferentes: parte superior, parte inferior y el punto céntrico (ver figura 3), es decir se obtienen nueve incertidumbres de las cuales cuatro pertenecen a la sección superior, cuatro a la sección inferior y una en el punto céntrico.

$$u_A(T_i) = \frac{s(T_i)}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$u_A(h_i) = \frac{s(h_i)}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Luego se calcula un promedio de las incertidumbres Tipo A para temperatura  $u_A(T_{sec})$  y para humedad  $u_A(h_{sec})$  de cada una de las secciones, es decir, se calcula el promedio de las cuatro incertidumbres obtenidas en la sección inferior, posteriormente el promedio de las cuatro incertidumbre obtenidas en la sección superior, y teniendo en cuenta que en la sección central solo se calcula una incertidumbre se utiliza esta.

La incertidumbre Tipo A debe ser calculada en todos los métodos de calibración (ver sección 6.3). En los métodos A y B es válido para cada punto del volumen útil total y para el método C solo es válido para la ubicación de medición.

### 5.7.2. Incertidumbre de medición Tipo B

Por otro lado, la incertidumbre Tipo B se basa de información derivada de la experiencia o conocimiento acerca del comportamiento del equipo bajo prueba, a su vez, los parámetros técnicos del instrumento de medición involucran incertidumbres asociadas a este. Las incertidumbres Tipo B que predominan para la calibración de cuartos fríos son: incertidumbre por especificación, incertidumbre por resolución, incertidumbre por inhomogeneidad espacial, incertidumbre por inestabilidad temporal e incertidumbre por efecto de carga.

#### a. Incertidumbre por Especificación $u(T_{EMP}); u(h_{EMP})$

Cada valor o intervalo de valores que cuantifica un instrumento tiene una estimación máxima de error de medida, a lo que se conoce como Error Máximo Permitido ( $EMP$ ). Dichos valores son conocidos a través de las especificaciones del equipo, reglamentaciones o certificados de calibración. Por medio de la incertidumbre por especificación, se permite dar confianza a la cantidad de valores obtenidos en los que se encuentra el valor verdadero.

La incertidumbre por especificación se calcula de la siguiente forma:

$$u(T_{EMP}) = \frac{T_{EMP}}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

$$u(h_{EMP}) = \frac{h_{EMP}}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

Se debe tener en cuenta que, en algunos equipos, los  $EMP$  varían de acuerdo con los intervalos de medición.

**b. Incertidumbre por Resolución  $u(T_{res})$ ;  $u(h_{res})$**

Las cantidades físicas medibles dentro del cuarto frío pueden ser inferiores a la resolución del instrumento con el cual se trabaja, por ello es necesario calcular una incertidumbre que parta de esta especificación del equipo.

La incertidumbre por resolución se calcula para equipos digitales de la siguiente manera:

$$u(\delta T_{res}) = \frac{T_{res}}{2\sqrt{3}} \quad (5)$$

$$u(\delta h_{res}) = \frac{h_{res}}{2\sqrt{3}} \quad (6)$$

En este caso, la incertidumbre por resolución es la misma para la temperatura ( $res = 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y la humedad relativa ( $res = 0.1\text{ \%RH}$ ).

**c. Incertidumbre por Inhomogeneidad Espacial  $u(T_{inh})$ ;  $u(h_{inh})$**

Mantener la homogeneidad dentro del cuarto frío es de vital importancia para la preservación de los productos que ahí se albergan. Un cuarto homogéneo permite ubicar los productos en cualquier área de este, es decir, en cada sector del recinto la temperatura y la humedad no varían de manera significativa, lo cual genera un almacenamiento en óptimas condiciones.

La inhomogeneidad espacial se determina como la diferencia máxima de la temperatura o humedad relativa de un punto de medición de esquina o pared con respecto a la ubicación de referencia (el punto céntrico de medición en el volumen útil). Las incertidumbres estándar asociadas se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$u(T_{inh}) = \frac{1}{\sqrt{3}} * \text{Máx} |T_{ref} - T_i| \quad (7)$$

$$u(h_{inh}) = \frac{1}{\sqrt{3}} * \text{Máx} |h_{ref} - h_i| \quad (8)$$

Para cuartos fríos vacíos, se puede asumir que la humedad en el volumen útil es homogénea, debido a la fuerte circulación de aire. La falta de homogeneidad espacial debe ser calculada para todos los métodos de calibración. En los métodos A y B es válido para cada punto del volumen útil total y para el método C solo es válido para las ubicaciones de medición (ver sección 6.3).

**d. Incertidumbre por Inestabilidad Temporal.  $u(T_{inest})$ ;  $u(h_{inest})$**

En cada instante de tiempo, el cuarto frío debe mantenerse estable en los valores de temperatura y humedad relativa a los que es establecido para el almacenamiento. Las variaciones en estas magnitudes pueden acelerar el crecimiento microbiano y por ende deteriorar los alimentos.

La inestabilidad temporal se determina a partir de la diferencia máxima entre el promedio de la temperatura o humedad relativa y cada uno de los puntos individuales de medición, durante un período de tiempo mínimo de 30 minutos después de haber alcanzado las condiciones de estado estable. Las incertidumbres estándar asociadas se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$u(T_{inest}) = \frac{1}{\sqrt{3}} * \text{Máx} |\bar{T} - T_i| \quad (9)$$

$$u(h_{inest}) = \frac{1}{\sqrt{3}} * \text{Máx} |\bar{h} - h_i| \quad (10)$$

La inestabilidad temporal se tendrá en cuenta en los métodos de calibración A, B y C (ver sección 6.3) y se indicará en el informe final de medición.

**e. Incertidumbre por Efecto de Carga  $u(T_{carga})$ ;  $u(h_{carga})$**

Las condiciones dentro del cuarto frío pueden verse alteradas por diversos factores, uno de ellos, es la carga que se encuentra dentro de este, puesto que la distribución espacial de la temperatura puede verse influenciada. En lo posible se debe calibrar en primera instancia el cuarto vacío y posteriormente el cuarto cargado, así se evidencian los posibles cambios que genera la carga sobre las

magnitudes físicas dentro del cuarto. Si no es posible calibrar el cuarto frío vacío, se omite el efecto de carga.

La incertidumbre de la carga se determina con el 20% de la diferencia de la temperatura de la ubicación de medición de referencia (estado cargado – estado vacío). Para las incertidumbres estándar asociadas se obtiene lo siguiente:

$$u(T_{efcarga}) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} * \text{Máx} |T_{ref} - T_{ref,carga}| \quad (11)$$

$$u(h_{efcarga}) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} * \text{Máx} |h_{ref} - h_{ref,carga}| \quad (12)$$

Como efecto de carga, la diferencia entre el estado cargado y el estado vacío de la temperatura en la ubicación de medición de referencia (sin el factor de ponderación 0.2), se indica en el informe final de medición.

### 5.7.3. Incertidumbre Combinada $u_C(T)$ ; $u_C(h)$

Todas las incertidumbres calculadas deben ser expresadas como la combinación de una sola, por lo que, a través de la Ley de Propagación de Incertidumbre, se combinan todas las incertidumbres que se originan por medio de las magnitudes que influyen sobre el resultado de la medición de la siguiente manera:

$$u_C(T) = \sqrt{u(T_A)^2 + u(T_{esp})^2 + u(T_{res})^2 + u(T_{inh})^2 + u(T_{inest})^2 + u(T_{carga})^2} \quad (13)$$

$$u_C(h) = \sqrt{u(h_A)^2 + u(h_{esp})^2 + u(h_{res})^2 + u(h_{inh})^2 + u(h_{inest})^2 + u(h_{carga})^2} \quad (14)$$

A pesar de ser una combinación de todos los aportes de incertidumbre, la incertidumbre combinada no representa un intervalo de valores donde posiblemente se encuentre el valor verdadero del mensurando.

### 5.7.4. Grados de Libertad y Factor de Cobertura

Por medio de los grados de libertad, el factor de cobertura ( $k$ ) debe encontrarse correctamente de la tabla t de Student (con una confianza del 95%) para hallar la incertidumbre expandida de la medida.

Los grados de libertad están relacionados con la distribución t de Student y nos indica el número de veces que se usa la información de la muestra. Se calcula a través de

una aproximación llamada Welch-Satterthwaite, que es usada para calcular una aproximación a los grados efectivos de libertad de la siguiente manera:

$$v_{eff}(T) = \frac{u_c^4(T)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_{incer}^4(T)}{v_{incer}(T)}} \quad (15)$$

$$v_{eff}(h) = \frac{u_c^4(h)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_{incer}^4(h)}{v_{incer}(h)}} \quad (16)$$

Los grados de libertad de las Incertidumbre Tipo B son  $v_B = \infty$ , dado que se tiene absoluta certeza de que todos los posibles valores del mensurando se encuentran dentro de este intervalo. Para los grados de libertad de la Incertidumbre Tipo A se tiene que  $v_A = n - 1$ . Por ende, los grados efectivos de libertad se obtienen de la siguiente ecuación:

$$v_{eff}(T) = \frac{u_c^4(T)}{\frac{u_A^4(T)}{n-1}} \quad (15.1)$$

$$v_{eff}(h) = \frac{u_c^4(h)}{\frac{u_A^4(h)}{n-1}} \quad (16.1)$$

Conociendo el número de los grados efectivos de libertad para ambas magnitudes del mensurando, se utiliza la tabla t de Student con un nivel de confianza del 95% para encontrar el factor de cobertura  $k$ , que es el factor numérico utilizado como coeficiente de la Incertidumbre Combinada para obtener la Incertidumbre Expandida.

#### 5.7.5. Incertidumbre Expandida

La incertidumbre expandida permite conocer el intervalo de valores probables en los que se encuentra el valor verdadero del mensurando. La incertidumbre expandida se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$U(T) = k(T) \cdot u_c(T) \quad (17)$$

$$U(h) = k(h) \cdot u_c(h) \quad (18)$$

Conociendo esta incertidumbre podemos expresar los valores de las magnitudes medidas con su respectiva incertidumbre expandida y así tomar una decisión razonable sobre la aceptación o rechazo del resultado en comparación con valores de referencia en los productos alimenticios.

### **5.8. Corrección a la indicación del equipo bajo prueba**

Cuando un instrumento se somete a calibración, el valor de indicación del equipo bajo prueba se considera como verdadero hasta ese momento. Después de una serie de análisis se puede conocer el error de indicación del instrumento, lo que permite estar al tanto de cuanto es el desvío en la medida de indicación.

En el caso de los cuartos fríos, ya que no se tiene certeza de un único valor al que debe permanecer en temperatura y humedad relativa, se promedia los valores que el instrumento arroja a lo largo de la calibración y se compara con el promedio de todos los puntos de medición.

$$\text{Corrección a la indicación temperatura} = \bar{T} - \overline{T_{bp}} \quad (19)$$

$$\text{Corrección a la indicación humedad rel.} = \bar{h} - \overline{h_{bp}} \quad (20)$$

Es recomendable proceder a mantenimiento y ajuste del equipo si la corrección a la indicación es diferente de cero, si no es posible, es importante conocer la magnitud del error para que se realice la corrección correspondiente.

## **6. Metodología**

El proyecto se basa según la guía Traducción Guía DKD-R-5-7 Calibración de Cámara Climáticas INM/GTM T-TH/03 Bogotá, D.C. 2019-07-29. La cual tiene como objetivo determinar la desviación de las características climatológicas de la temperatura y la humedad relativa del aire dentro del volumen de la cámara que se emplea para almacenar los productos, además está adecuado a los objetivos que fueron planteados en el proyecto de investigación.

### **6.1. Definir los máximos y mínimos de temperatura y humedad relativa**

Antes de realizar cualquier medición se debe establecer con el propietario del equipo bajo prueba los máximos y mínimos permitidos de acuerdo con las necesidades del usuario, ya que esto permite determinar si el cuarto frío se comporta dentro de esos intervalos de temperatura y humedad relativa.

### **6.2. Definir el número de datalogger a utilizar**

El número y la ubicación de los datalogger es esencial a la hora de calibrar el volumen útil en un cuarto frío, por esta razón, se optan los requisitos de medición según la norma DIN EN 60068-3-5:2002, la cual establece que para volúmenes útiles  $< 2000 \text{ m}^3$  se deben seleccionar al menos nueve ubicaciones para realizar la medición, las ubicaciones están dadas por los puntos de las esquinas y el centro espacial de un cuboide comprendido por el volumen útil.

Para volúmenes útiles  $\geq 2000 \text{ m}^3$ , las ubicaciones de medición deben comprender una red cúbica donde cada datalogger tenga una separación máxima de 1 m.

### **6.3. Métodos de calibración**

La calibración del volumen útil en los cuartos fríos se puede realizar por los tres métodos presentados a continuación.

#### **6.3.1. Método A – Cámara climática descargada**

Antes de poner en funcionalidad el cuarto donde se pretende almacenar los productos perecederos, es necesario que se tenga seguridad que el recinto opera de manera correcta, es decir, es homogéneo en todos sus puntos y presenta baja fluctuación de sus magnitudes a medida que transcurre el tiempo. El objetivo es evitar posibles pérdidas y deterioros en los productos que a futuro serán almacenados.

La calibración del volumen útil en la cámara climática descargada viene dada por el número y las ubicaciones de medición mencionadas en el numeral 6.2. La calibración por lo tanto establece:

- Determinación de la corrección a la indicación entre la medición en la ubicación de referencia y la indicación del cuarto frío.
- Determinación de la inhomogeneidad espacial en el volumen útil vacío.
- Determinación de la inestabilidad temporal en el volumen útil vacío.
- Determinación del efecto de carga en la ubicación de medición mediante la comparación del volumen útil cargado y vacío, si es posible o a petición del usuario.

#### **6.3.2. Método B – Cámara climática cargada**

Cuando la cámara climática se encuentre cargada, se debe adaptar el equipo de medición de tal forma que no interfiera con los productos allí almacenados. Como en el Método A, se debe comprobar la homogeneidad y las fluctuaciones dentro de este recinto, con el objetivo de evitar el deterioro de estos productos.

La calibración del volumen útil en la cámara climática cargada viene dada por el número y la posición de las ubicaciones de medición indicadas en el numeral 6.2. La calibración por lo tanto establece:



- Determinación de la corrección a la indicación entre la medición en la ubicación de referencia y la indicación del cuarto frío.
- Determinación de la inhomogeneidad espacial en el volumen útil cargado.
- Determinación de la inestabilidad temporal en el volumen útil cargado.
- Determinación del efecto de carga en la ubicación de medición mediante la comparación del volumen útil cargado y vacío, a petición del usuario.

### **6.3.3. Método C – Puntos de medición individuales**

El usuario puede optar por obtener mediciones en otros puntos de la cámara climática que no abarquen el volumen útil. La calibración por lo tanto establece:

- Determinación de la corrección a la indicación entre la medición en la ubicación de referencia y la indicación del cuarto frío.
- Determinación de la inestabilidad temporal en el lugar de medición.
- Determinación del efecto de carga en la ubicación de medición mediante la comparación del volumen útil cargado y vacío, a petición del usuario.

## **6.4. Determinación del volumen útil para Métodos A y B**

Para calibrar el volumen útil de un cuarto frío cargado o descargado se deben realizar mediciones en varios lugares del volumen. A partir del primer volumen útil se hará un barrido de las mismas dimensiones del cuboide hasta cubrir todo el espaciado del cuarto frío (si es necesario). A petición del usuario son posibles otras ubicaciones para los puntos de medición, pero se debe garantizar que los puntos se encuentren dentro del volumen útil. Es posible la ubicación de otros puntos de medición si estos están especificados dentro del informe.

El barrido de los volúmenes útiles permite determinar la homogeneidad y las fluctuaciones de temperatura y humedad relativa que comprende todo el cuarto frío, esta información sirve para delimitar los sectores donde se puedan refrigerar o congelar (según el etiquetado) los productos perecederos.

El resultado de calibración solo es válido para los volúmenes útiles que se abarcaron por medio del barrido en todo el cuarto frío. La interpolación espacial de los valores de medición es admisible dentro del volumen útil encerrado por los puntos de medición. Las extrapolaciones de los resultados de medición que no abarquen el volumen útil no son admisibles. La interpolación de las aportaciones de incertidumbre no es admisible. La incertidumbre de medición especificada está compuesta por valores máximos de los aportes individuales.

Las dimensiones del volumen total de la cámara y las posiciones seleccionadas para los puntos de medición se ilustran en los resultados mediante un boceto.

### 6.5. Determinación por puntos individuales (Método C)

Las calibraciones en ubicaciones individuales son válidas únicamente por solicitud. Para este caso, el resultado de la medición solo es válido para las ubicaciones investigadas y se debe indicar en el informe final como “lugares de medición en el cuarto frío”. La contribución de la falta de homogeneidad espacial en las ubicaciones individuales de medición se determina por medio de dos datalogger con un espaciado aproximadamente de 2 cm a 5 cm. Uno de estos es ubicado en el punto donde se quiere tomar la medición y el otro a la distancia necesaria (el resultado de este datalogger solo sirve para determinar la falta de homogeneidad espacial e inestabilidad local y no entra explícitamente en el resultado de calibración).

## 7. Resultados y discusiones

En la ejecución del proyecto fue necesario adaptar unas bases trípode de cámara, las cuales tienen como única función ser el soporte de los datalogger a diferentes alturas (consultar en Anexo C). Su fácil manejo permite que se ubiquen en cualquier lugar dentro del cuarto frío, siendo soporte del datalogger desde una altura mínima de 40 cm hasta una altura máxima de 2 m respecto al suelo.

Cada datalogger es identificado a través de una etiqueta única, las cuales van desde el DL-01 hasta el DL-09. Para su ubicación, los equipos se representan de la siguiente manera (ver Figura 3): DL-09 datalogger de referencia (centro del cuboide), en la parte inferior del cuboide se ubicaron los datalogger DL-01 hasta el DL-04 y en la parte superior del cuboide se ubicaron del DL-05 hasta el DL-08.

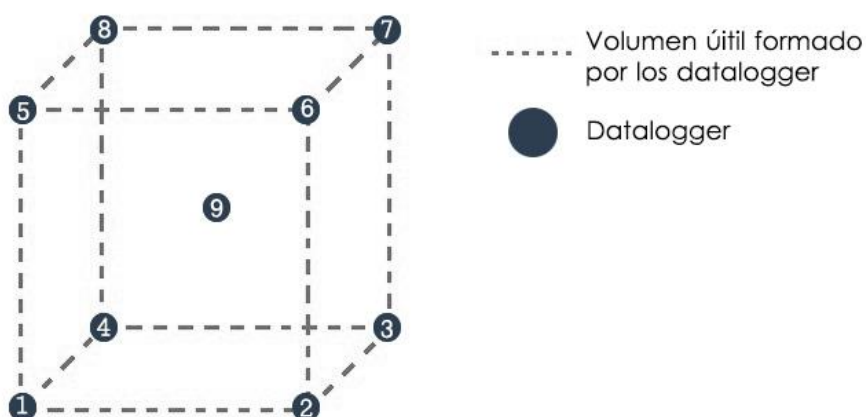


Figura 3. Ubicación estándar de cada datalogger para formar un cuboide dentro del cuarto frío. Fuente. Propia

Los resultados obtenidos se muestran con base a la parte superior, inferior y el centro del cuboide, cada una con su respectiva incertidumbre expandida asociada. El centro que ejerce como referencia es el dato más importante durante la calibración, de allí proviene una de las incertidumbres calculadas y además indica el resultado de calibración.

La implementación del proyecto se ejecutó gracias a Jerónimo Martins Colombia SAS que permitió hacer uso de los cuartos fríos en las tiendas ARA de la región 1.

A continuación, se presentan las incertidumbres por especificación y resolución, a su vez, se presentan los resultados de calibración del cuarto frío en cada una de las tiendas.

### 7.1. Incertidumbre por especificación y por resolución

La incertidumbre por especificación y por resolución no dependen de los valores del mensurando, ya que están sujetas a las especificaciones del equipo patrón, es decir, ambas incertidumbres tendrán un valor constante para cada medición.

La ficha técnica del datalogger UT-330B indica los  $EMP$  en los intervalos de temperatura y humedad relativa en los que oscila el equipo patrón dentro de los parámetros que maneja el cuarto frío de las tiendas ARA, además indica la resolución que maneja para ambos mensurandos. En la Tabla 4 y 5 se aprecia los  $EMP$  según el intervalo de medición y su respectiva incertidumbre por especificación para la temperatura y humedad relativa, utilizando las ecuaciones (3) y (4) respectivamente:

Tabla 4

*EMP e incertidumbre por especificación en los intervalos de temperatura del datalogger usado como equipo patrón*

Temperatura [°C]			
Desde	Hasta	$EMP$	$u(T_{EMP})$
-30	0.0	$\pm 1.0$	$\pm 0.6$
0.0	40	$\pm 0.5$	$\pm 0.3$

*Nota.* Para consultar los demás intervalos de temperatura con sus respectivo  $EMP$  consultar la ficha técnica en Anexo A.

Tabla 5

*EMP e incertidumbre por especificación en los intervalos de humedad relativa del datalogger usado como equipo patrón*

Humedad Relativa [%RH]			
Desde	Hasta	$EMP$	$u(h_{EMP})$

20	80	$\pm 3.0$	$\pm 1.7$
80	100	$\pm 5.0$	$\pm 2.9$

*Nota.* Para consultar los demás intervalos de humedad relativa con sus respectivo *EMP* consultar la ficha técnica en Anexo A.

La resolución para la temperatura es de  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  y para la humedad relativa es de  $0.1\text{ \%RH}$ , por consiguiente, la incertidumbre por resolución viene dada por las ecuaciones (5) y (6) respectivamente. Debido a la resolución del equipo, todos valores se redondean a una cifra decimal, así que:  $u(\delta T_{res}) \simeq 0.0$  y  $u(\delta h_{res}) \simeq 0.0$

## 7.2. Resultado de calibración de la Tienda T0460

La calibración en esta tienda se realizó para un cuarto frío enfocado en la refrigeración de alimentos como: pollo refrigerado y sus partes, avena, mortadela, salchichón, tomate, zanahoria y res molida (ver Anexo D). El método utilizado para la calibración fue el Método B, ya que se encontraba cargada en el momento de realizar la medición; por consiguiente, la incertidumbre por carga es despreciada en este caso, puesto que no se tiene algún registro que permita visualizar la funcionabilidad del cuarto en estado descargado.

La disposición de los equipos y las dimensiones del cuarto se aprecian en el siguiente bosquejo:

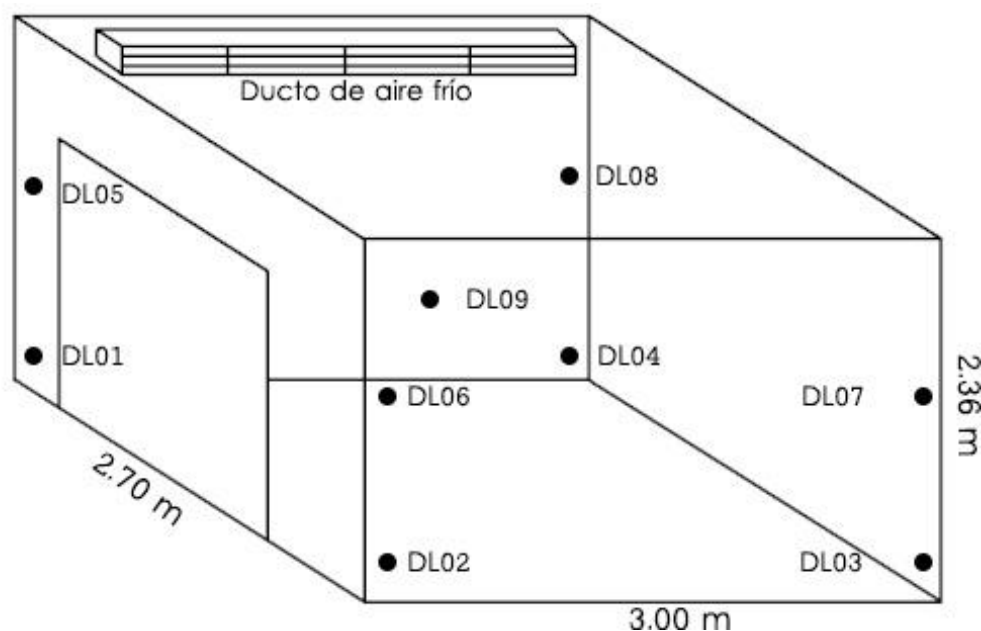


Figura 4. Ubicación de los datalogger dentro del cuarto frío y sus dimensiones. Fuente. Propia

Debido a la ubicación de los productos allí almacenados, no fue posible realizar el barrido con los datalogger con un volumen del cuboide menor a  $2\text{ m}^3$ , las mediciones se aplicaron en una sola toma de datos que abarcaba todo el cuarto frío. La distancia vertical entre cada datalogger fue de  $95\text{ cm}$ , y la distancia horizontal estaba dada por las dimensiones del cuarto, puesto que los datalogger se ubicaban en las esquinas de este.

Los datos obtenidos por medio de los nueve datalogger se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 6

*Datos obtenidos de temperatura a través del Datalogger en la Tienda T0460*

Datos	Temperatura [°C]								
	ID Datalogger								
	DL-01	DL-02	DL-03	DL-04	DL-05	DL-06	DL-07	DL-08	DL-09
1	2.0	1.6	1.8	2.4	1.9	1.7	1.7	1.5	2.1
2	2.0	1.6	1.9	2.3	1.9	1.8	1.6	1.5	1.8
3	2.2	1.5	1.9	2.2	1.9	1.9	1.6	1.5	1.8
4	2.0	1.5	1.8	2.1	1.9	1.9	1.7	1.5	1.8
5	1.9	1.4	1.7	2.0	1.8	1.8	1.7	1.5	1.8
6	1.9	1.3	1.6	2.1	1.7	1.7	1.7	1.4	1.8
7	1.8	1.5	1.7	2.1	1.7	1.8	1.8	1.3	1.7
8	1.6	1.6	1.8	2.0	1.7	1.9	1.7	1.4	1.5
9	1.7	1.8	1.9	2.0	1.8	1.9	1.6	1.5	1.5
10	1.9	1.8	2.0	1.9	1.8	2.0	1.6	1.5	1.5
11	2.1	1.6	2.1	1.8	1.9	2.0	1.6	1.6	1.6
12	2.1	1.6	2.1	1.9	1.9	2.0	1.6	1.6	1.5
13	2.0	1.5	2.0	2.0	1.8	1.9	1.7	1.5	1.3
14	2.1	1.3	1.8	2.0	1.7	1.8	1.8	1.4	1.3
15	2.0	1.5	1.7	2.1	1.7	1.8	1.9	1.4	1.4
16	1.8	1.6	1.8	2.2	1.7	1.9	1.9	1.4	1.5
17	1.9	1.6	1.9	2.1	1.8	2.0	2.0	1.5	1.5
18	2.0	1.5	1.9	2.1	1.9	2.1	2.1	1.6	1.5
19	1.8	1.3	1.8	1.9	1.9	2.2	2.1	1.7	1.4
20	1.7	1.2	1.7	1.9	2.0	2.3	2.2	1.8	1.3
21	1.6	0.9	1.6	1.9	2.1	2.3	2.2	1.8	1.2
22	1.6	0.9	1.6	2.0	2.2	2.4	2.3	1.9	1.2
23	1.6	1.3	1.7	2.0	2.2	2.4	2.3	2.0	1.3
24	1.8	1.5	1.8	1.9	2.3	2.5	2.4	2.0	1.4
25	2.2	1.3	1.8	1.7	2.3	2.5	2.5	2.1	1.4
26	2.1	1.3	2.0	1.5	2.4	2.6	2.6	2.2	1.2

<b>27</b>	2.3	1.4	2.2	1.5	2.5	2.6	2.7	2.2	1.2
<b>28</b>	2.0	1.5	2.2	1.4	2.5	2.7	2.8	2.3	1.2
<b>29</b>	2.0	1.6	2.2	1.4	2.6	2.8	2.9	2.4	1.4
<b>30</b>	2.3	1.6	2.0	1.5	2.7	2.9	3.0	2.4	1.6
<b>PROMEDIO</b>	1.9	1.5	1.9	1.9	2.0	2.1	2.0	1.7	1.5

*Nota.* Los datos obtenidos se tomaron en un intervalo de treinta minutos cada minuto, después de un periodo en el cual se estabilizó el equipo

Tabla 7

*Datos obtenidos de humedad relativa a través del Datalogger en la Tienda T0460*

<b>Humedad Relativa [%RH]</b>									
<b>Datos</b>	<b>ID Datalogger</b>								
	<b>DL-01</b>	<b>DL-02</b>	<b>DL-03</b>	<b>DL-04</b>	<b>DL-05</b>	<b>DL-06</b>	<b>DL-07</b>	<b>DL-08</b>	<b>DL-09</b>
<b>1</b>	81.7	83.9	85.7	82.7	78.7	81.7	78.4	79.9	75.8
<b>2</b>	80.2	82.4	86.1	81.0	81.8	85.0	80.8	83.2	79.7
<b>3</b>	79.3	81.2	83.0	79.9	83.8	85.7	83.6	85.6	83.5
<b>4</b>	78.2	80.9	81.7	78.7	81.5	80.4	85.3	84.4	85.6
<b>5</b>	81.4	84.7	80.8	81.0	77.7	77.7	85.0	80.3	85.7
<b>6</b>	84.3	86.7	82.8	85.0	78.9	81.0	85.0	80.2	83.4
<b>7</b>	82.6	85.0	87.2	84.1	81.8	84.5	84.8	83.1	79.3
<b>8</b>	80.8	83.3	87.4	81.8	84.1	86.4	81.9	85.4	80.2
<b>9</b>	79.9	82.0	87.8	80.6	84.6	85.3	79.1	86.5	83.9
<b>10</b>	79.6	82.7	88.7	79.7	84.0	85.1	80.6	85.8	86.3
<b>11</b>	83.1	86.3	87.7	83.2	84.4	84.9	83.3	86.1	87.0
<b>1</b>	85.0	87.9	85.2	86.3	82.3	81.0	85.3	84.8	81.1
<b>13</b>	85.3	88.5	82.9	86.3	78.8	77.7	86.5	81.5	80.0
<b>14</b>	86.2	89.4	80.3	87.4	78.9	80.1	87.2	80.2	83.7
<b>15</b>	86.5	89.5	82.5	88.0	81.7	83.7	87.6	82.7	86.4
<b>16</b>	85.1	88.0	87.3	86.7	84.1	85.9	87.9	85.2	88.0
<b>17</b>	82.8	85.7	87.2	84.3	85.5	87.1	88.0	86.8	86.5
<b>18</b>	80.5	82.7	82.8	81.8	86.3	87.6	88.1	87.7	84.6
<b>19</b>	79.6	82.8	79.4	79.8	86.8	87.9	88.2	88.3	84.4
<b>20</b>	83.0	86.5	76.7	83.1	87.2	88.0	88.2	88.6	80.9
<b>21</b>	85.8	88.6	78.4	87.1	87.3	88.0	88.3	88.8	81.5
<b>22</b>	83.2	86.8	83.0	85.6	87.4	88.0	88.4	88.8	85.0
<b>23</b>	79.4	83.8	83.5	81.7	87.5	88.1	88.6	89.0	87.2
<b>24</b>	76.8	80.9	81.6	78.6	87.5	88.1	88.8	89.0	88.3
<b>25</b>	74.8	81.2	80.5	76.1	87.6	88.2	89.2	89.1	84.0
<b>26</b>	80.4	84.5	87.0	81.5	87.7	88.3	89.7	89.2	81.2
<b>27</b>	83.4	86.5	88.1	85.2	87.8	88.6	90.1	89.3	84.2

<b>28</b>	79.9	83.7	86.5	82.2	88.1	88.9	90.7	89.5	86.8
<b>29</b>	78.4	82.5	82.7	81.2	88.4	89.3	91.2	89.9	88.4
<b>30</b>	82.0	88.2	77.8	82.5	88.9	89.9	91.9	90.3	90.4
<b>PROMEDIO</b>	81.6	84.9	83.7	82.8	84.4	85.4	86.4	86.0	84.1

*Nota.* Los datos obtenidos se tomaron en un intervalo de treinta minutos cada minuto, después de un periodo en el cual se estabilizó el equipo

La totalidad de los datos obtenidos durante los treinta minutos de calibración refleja pequeños aumentos y disminuciones tanto en la temperatura como en la humedad relativa, las cuales son normales por las condiciones de almacenamiento, ya que se presentan perdidas en el aire frío debido a la entrada y/o salida de productos, es decir, la circulación del aire se ve interrumpida por la apertura del cuarto, así mismo los datos varían significativamente entre cada datalogger, debido a las ubicaciones de los equipos dentro del cuarto frío, donde en unos sectores hay mayor o menor circulación del aire.

### 7.2.1. Aportes de incertidumbre y comportamiento en la ubicación referencia del cuboide

La parte central es el punto de medición más importante, ya que fue el valor tomado como referencia con respecto a los otros puntos que conformaban el cuboide, a su vez, de este dependió la incertidumbre por inhomogeneidad espacial.

Los resultados presentados en la Tabla 8 se hallaron con los datos obtenidos en el punto céntrico para temperatura y humedad relativa mostrados en las tablas 6 y 7, respectivamente, haciendo uso de las ecuaciones correspondientes presentadas en la metodología (ver sección 5.7.1. y 5.7.2.)

Tabla 8

*Incertidumbres A y B asociadas a la Temperatura [°C] y Humedad Relativa [%RH]*

Incertidumbre Tipo A		Inestabilidad temporal	
[°C]	[%RH]	[°C]	[%RH]
0.0	0.6	0.0	0.0

Debido a que la incertidumbre por inhomogeneidad espacial debe ser comparada con el valor de referencia, esta no se muestra en la tabla 8 puesto que su valor siempre será nulo.

Tabla 9

*Cálculos estadísticos para la temperatura*

--	--	--	--	--

<b>Temperatura promedio [°C]</b>	<b>Incertidumbre combinada</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Factor de cobertura K</b>	<b>Incertidumbre expandida</b>
1.5	0.4	269676.0	1.960	0.8

Tabla 10

*Cálculos estadísticos para la humedad relativa*

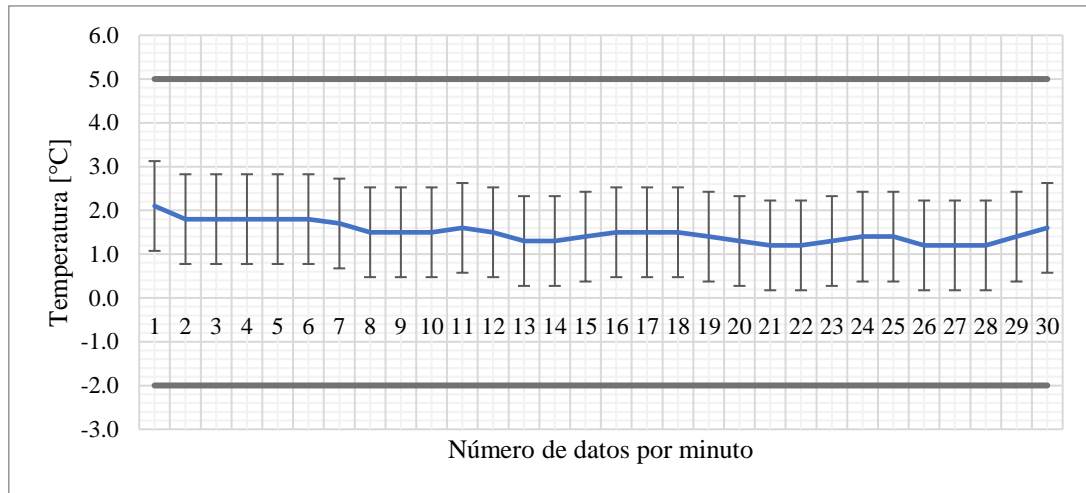
<b>Humedad relativa promedio [%RH]</b>	<b>Incertidumbre combinada</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Factor de cobertura K</b>	<b>Incertidumbre expandida</b>
84.1	4.1	63371.8	1.960	8.1

Después de alcanzar el estado estable del equipo de medición, el comportamiento de la temperatura en la parte central del cuboide indicó que para los treinta minutos se obtuvo un promedio de 1.5 °C y una incertidumbre expandida de  $\pm 0.8$  °C, donde el valor verdadero de la medida se encuentra dentro de un intervalo de 0.7 °C y 2.3 °C. A su vez, para la humedad relativa se obtuvo un promedio de 84.1 %RH y una incertidumbre expandida de  $\pm 8.1$  %RH, para la cual el valor verdadero de la medida se encuentra dentro de un intervalo de 76.0 %RH y 92.2 %RH.

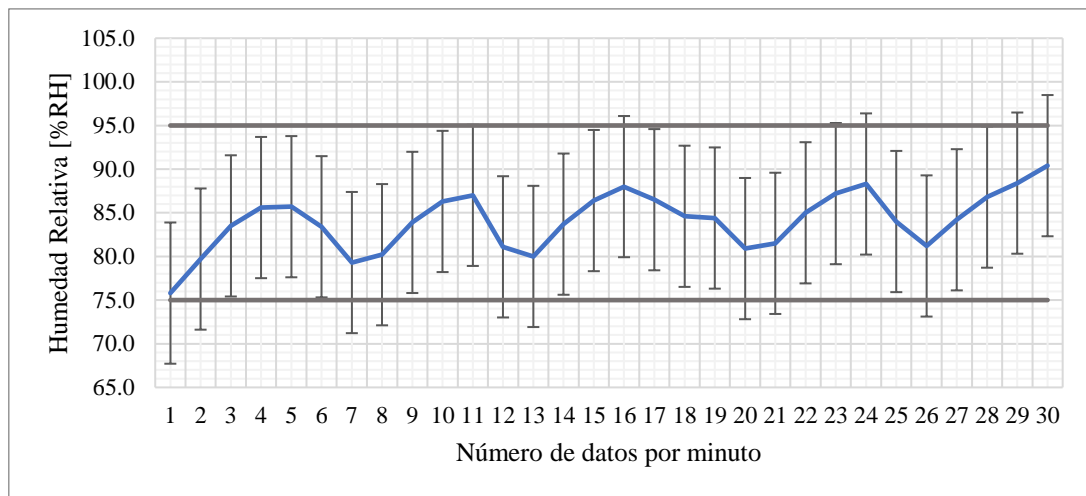
Dada su importancia, se estimó que los valores en la parte inferior y superior variarían mínimamente respecto a estos, puesto que una pequeña alteración es el primer indicio del óptimo comportamiento que presenta el cuarto, de lo contrario, su funcionamiento no es el adecuado para el almacenamiento en refrigeración.

En las gráficas 1 y 2, se observa el comportamiento de la temperatura y humedad relativa, respectivamente, en la parte central del cuarto frío, durante los treinta minutos a los que fue sometido a calibración. La temperatura y la humedad relativa en este sector es representada por un único equipo de medición situado allí, por lo tanto, los valores no representan un promedio, representan explícitamente los datos que se obtuvieron durante los treinta minutos. Las líneas paralelas indican los límites recomendados para la refrigeración, la línea azul es el comportamiento del mensurando y las líneas verticales indican la incertidumbre expandida. Los límites recomendados para la refrigeración de los productos alimenticios promedian en general entre -2 °C a 5 °C para temperatura y 75 %RH a 95 %RH en la humedad relativa, para un almacenamiento por más de 24 horas.





Gráfica 1. Comportamiento del promedio de la temperatura en el punto de referencia del cuboide



Gráfica 2. Comportamiento del promedio de humedad relativa en el punto de referencia del cuboide

La temperatura en la parte central no presentó mucha alteración como se puede observar en la gráfica 1 y su incertidumbre expandida permaneció dentro de los límites recomendados para refrigeración y se estableció que los productos que estaban siendo almacenados en el sector central preservan su inocuidad tomando como referencia la temperatura durante el tiempo de estadía. En la gráfica 2 los valores de humedad fluctúan de manera drástica entre picos de 75 %RH y 90 %RH, lo cual generó que en algunos instantes de tiempo su incertidumbre expandida asociada sobrepasara los límites recomendados, este comportamiento no es adecuado para afirmar que la humedad cumplió con los mínimos requisitos. Este inconveniente pudo ocurrir tanto por el cuarto frío, ya que este equipo está capacitado únicamente para controlar la temperatura, como por el equipo patrón que se usó en la medición, ya que a humedades relativas altas el error en la medida es alto, aproximadamente  $\pm 5.0$  %RH.

### 7.2.2. Aportes de incertidumbre y comportamiento en la parte inferior del cuboide

Los resultados presentados en la Tabla 11 se hallaron con los datos obtenidos en la parte inferior del cuboide, para temperatura y humedad relativa mostrados en las tablas 6 y 7, respectivamente, haciendo uso de las ecuaciones correspondientes presentadas en la metodología (ver sección 5.7.1. y 5.7.2.)

Tabla 11

*Incertidumbres A y B asociadas a la Temperatura [°C] y Humedad Relativa [%RH]*

Incertidumbre Tipo A		Inhomogeneidad espacial		Inestabilidad temporal	
[°C]	[%RH]	[°C]	[%RH]	[°C]	[%RH]
0.0	0.5	0.3	1.4	0.2	0.9

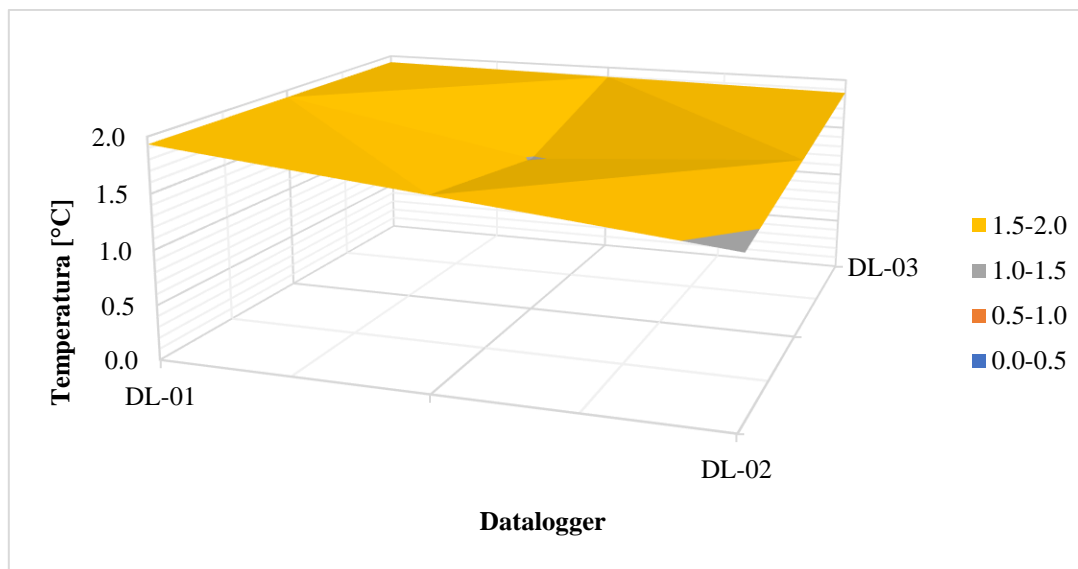
Tabla 12

*Cálculos estadísticos para la temperatura*

Temperatura promedio [°C]	Incertidumbre combinada	Grados de libertad	Factor de cobertura K	Incertidumbre expandida [±]
1.8	0.5	4027274.4	1.960	1.0

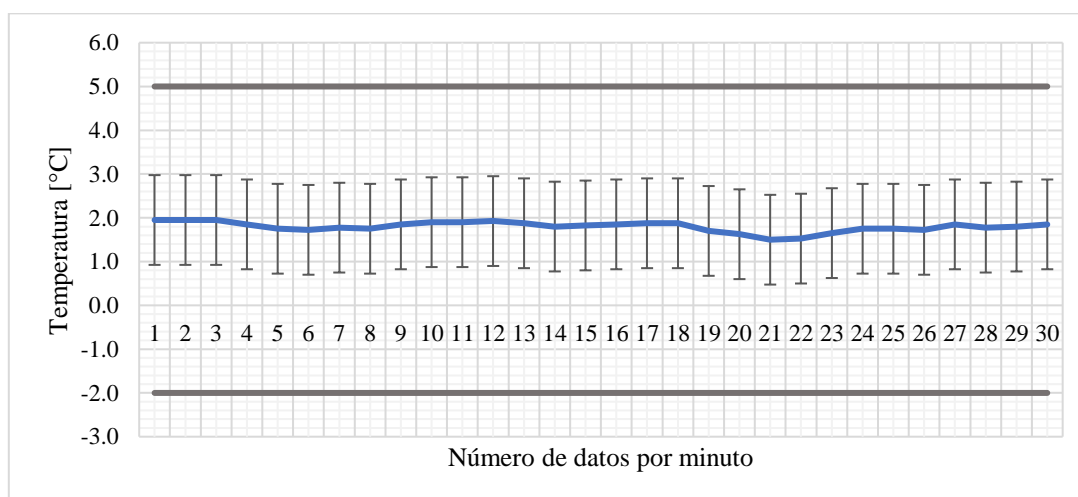
El comportamiento de la temperatura en la parte inferior del cuboide indica que en los treinta minutos después de que el equipo de medición alcanzara el estado estable, se obtuvo un promedio de 1.8 °C y una incertidumbre expandida de  $\pm 1.0$  °C. El valor verdadero de la medida se encuentra dentro de un intervalo de 0.8 °C y 2.8 °C. Respecto con los valores de referencia, la diferencia entre la parte inferior y central es relativamente pequeña, esto permite deducir que dentro de estos límites el comportamiento de la temperatura es homogéneo.

Las fluctuaciones de temperatura se aprecian en la siguiente gráfica, la cual presenta el promedio de los treinta datos obtenidos por cada datalogger en el punto en el cual fue ubicado.



Gráfica 3. Temperatura promedio de cada punto de medición en la parte inferior del cuboide

En la gráfica 3, las esquinas son los puntos medidos en la parte inferior del cuboide, la parte central de la gráfica es el valor en el punto de referencia. La temperatura más baja se presentó en el punto DL-02, el cual tenía valores entre 1.0 °C y 1.5 °C, el mismo intervalo que presentó el punto de referencia, a diferencia de lo que sucedió en los puntos restantes, donde la temperatura tuvo un comportamiento similar y oscilaba entre los 1.5 °C y 2.0 °C. Estas variaciones se deben a la ubicación en los puntos de medición e indica los lugares con mayor circulación en el flujo del aire frío. Sin embargo, estas diferencias no representan algún peligro para los alimentos que allí se almacenaban, puesto que todos los puntos de la parte inferior se encontraban dentro del intervalo permitido (ver gráfica 4).



Gráfica 4. Comportamiento del promedio total de la temperatura en la parte inferior del cuboide

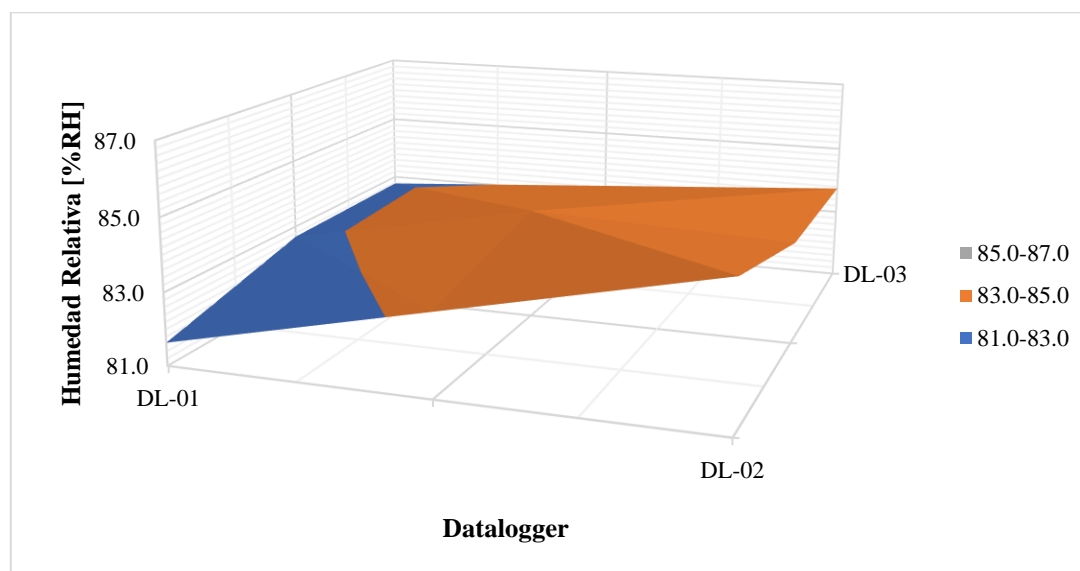
Los puntos presentados en la gráfica 4, hacen parte del promedio de los treinta datos obtenidos por los cuatro equipos ubicados en la parte inferior del cuarto y al igual que en la parte central, la temperatura en la parte inferior presentó mínimas alteraciones y ningún dato con su respectiva incertidumbre sobrepasó los límites recomendados, lo que significa que la temperatura es óptima, homogénea y estable para los productos que estaban siendo almacenados en la parte baja del cuarto frío.

Tabla 13

*Cálculos estadísticos para la humedad relativa*

<b>Humedad relativa promedio [%RH]</b>	<b>Incetidumbre combinada</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Factor de cobertura K</b>	<b>Incetidumbre expandida [±]</b>
83.3	4.5	532315.3	1.960	8.7

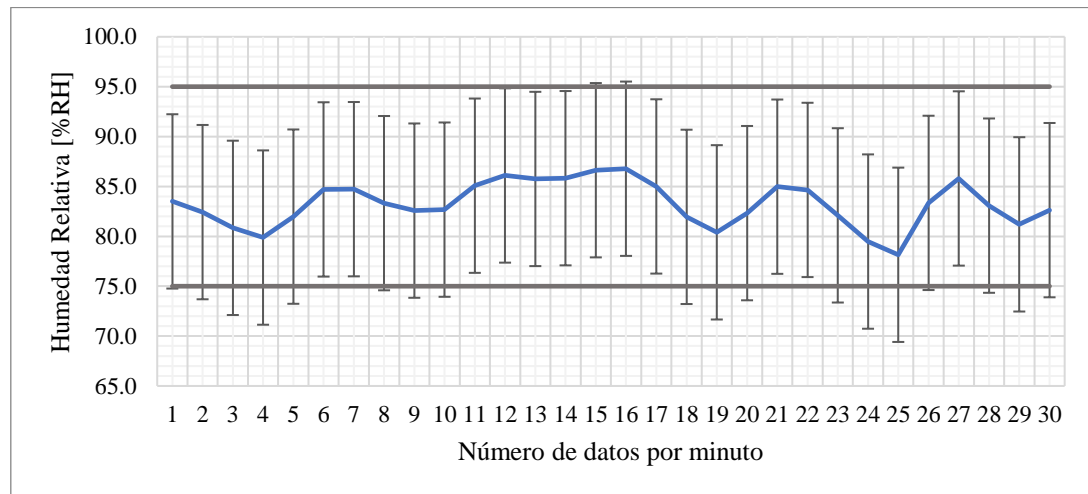
El comportamiento de la humedad relativa en la parte inferior del cuboide indicó que en los treinta minutos después de que el equipo de patrón alcanzara el estado estable, se obtuvo un promedio de 83.3 %RH y una incertidumbre expandida de  $\pm 8.7$  %RH. El valor verdadero de la medida se encontró dentro de un intervalo de 74.6 %RH y 9.2 %RH. El promedio y la incertidumbre expandida no presentaron gran variedad respecto a la parte central del cuarto, lo que indica que existe un comportamiento similar en ambos sectores. Las fluctuaciones que presentó la humedad relativa en la parte inferior se aprecian en la siguiente gráfica.



Gráfica 5. Humedad relativa promedio de cada punto de medición en la parte inferior del cuboide

Las esquinas en la gráfica 5 representan el promedio de cada punto de medición en la parte inferior del cuarto en los treinta minutos que fue expuesto a calibración, el

centro de la gráfica es el promedio obtenido en el valor referencia. El punto central muestra valores entre los 83.0 %RH a 85.0 %RH, valor que prima en la mayor parte de la gráfica. Los valores más bajos de humedad se encontraron en la parte izquierda donde estos oscilan entre 81.0 %RH a 83.0 %RH. Tanto los valores de humedad como las fluctuaciones permanecieron dentro de los rangos recomendados por Margarida da Silva y Artur de Melo (2010). A pesar de lo anterior, la humedad relativa no mostró estabilidad durante la calibración (ver gráfica 6).



Gráfica 6. Comportamiento del promedio total de la humedad relativa en la parte inferior del cuboide

La línea azul que se observa en la gráfica 6, representa el promedio en conjunto de todos los datos que se obtuvieron en la parte inferior del cuarto frío. Las variaciones a lo largo de la calibración son notorias y no se logró apreciar en ningún instante de tiempo, estabilidad en algún valor de la humedad. El comportamiento fluctuó en picos entre 78.0 %RH y 86.0 %RH aproximadamente, esta deficiencia en la estabilidad generó que la incertidumbre expandida superara los límites recomendados para la refrigeración.

### 7.2.3. Aportes de incertidumbre y comportamiento en la parte superior del cuboide

Los resultados presentados en la Tabla 14 se hallaron con los datos obtenidos en la parte superior del cuboide, para temperatura y humedad relativa mostrados en las tablas 6 y 7, respectivamente, haciendo uso de las ecuaciones correspondientes presentadas en la metodología (ver sección 5.7.1. y 5.7.2.)

Tabla 14

*Incertidumbres A y B asociadas a la Temperatura [°C] y Humedad Relativa [%RH]*

Incertidumbre Tipo A	Inhomogeneidad espacial	Inestabilidad temporal
----------------------	-------------------------	------------------------

[°C]	[%RH]	[°C]	[%RH]	[°C]	[%RH]
0.1	0.6	0.4	1.3	0.2	0.7

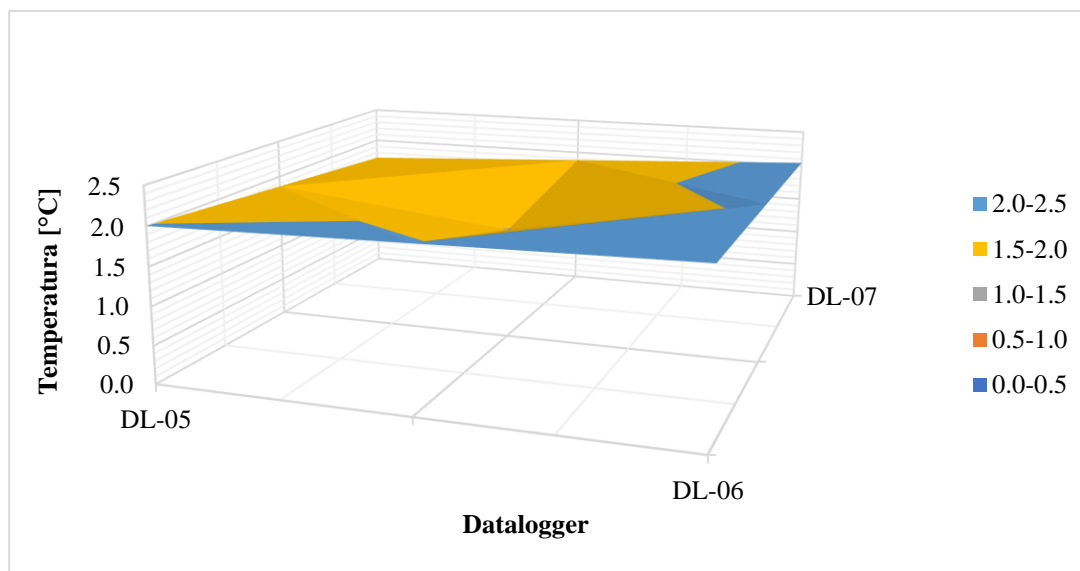
Tabla 15

*Cálculos estadísticos para la temperatura*

Temperatura promedio [°C]	Incertidumbre combinada	Grados de libertad	Factor de cobertura K	Incertidumbre expandida [±]
2.0	0.6	747768.9	1.960	1.1

La parte superior registró un promedio en la temperatura de 2.0 °C con una incertidumbre expandida de  $\pm 1.1$  °C, comportamiento que varió mínimamente con respecto a los anteriores sectores del cuarto. Se corroboró así que, en cada uno de los niveles sometidos a calibración, la circulación del aire frío fue homogéneo para las condiciones requeridas en temperatura.

El comportamiento de la temperatura en la parte superior del cuarto se refleja a través de la siguiente gráfica, en la cual, cada punto de medición representa el promedio obtenido de los treinta datos.



Gráfica 7. Temperatura promedio de cada punto de medición en la parte superior del cuboide

El comportamiento de la temperatura en la gráfica 7 indica que las temperaturas más altas se presentaron en los datalogger DL-06 y DL-07 con oscilaciones entre 2.0 °C y 2.5 °C, las más bajas en los dos restantes con temperaturas entre los 1.5 °C a 2.0 °C, este último intervalo (parte amarilla) fue la tendencia que priorizó la temperatura

en casi todos los puntos del cuarto frío y se encontraba dentro de los límites permitidos para el almacenamiento en refrigerado, lo que demostró la eficiencia en la circulación del aire en todas las superficies del cuarto. El comportamiento de la temperatura con su respectiva incertidumbre expandida se aprecia en la gráfica 8.



Gráfica 8. Comportamiento del promedio total de la temperatura en la parte superior del cuboide

La tendencia continúa con la parte superior del cuarto, donde el comportamiento y su incertidumbre no sobrepasaban los límites recomendados para la refrigeración. Aunque, esta muestra un incremento en la temperatura en la última mitad de los datos, un comportamiento que no se presentó en ningún caso de los anteriores. Esto es debido a que en la parte donde fueron ubicados los equipos DL-06 y DL-07 se presentaba menor circulación de aire frío lo cual produjo un leve aumento en la temperatura, dichos resultados se aprecian en la gráfica 7. Este aumento no presentó inconvenientes puesto que se siguió comportando dentro de los límites recomendados.

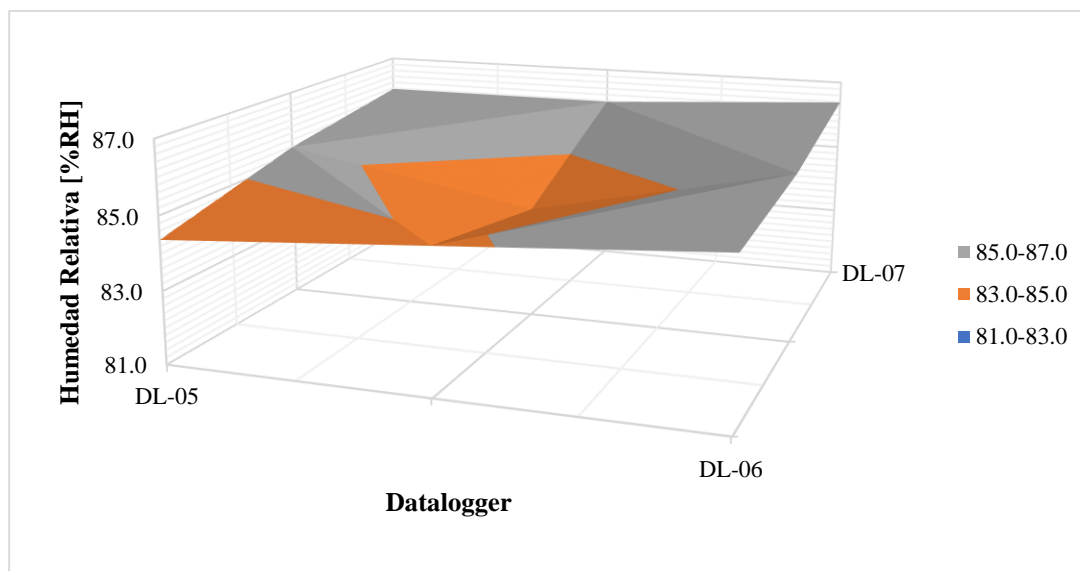
Tabla 16

*Cálculos estadísticos para la humedad relativa*

<b>Humedad relativa promedio [%RH]</b>	<b>Incertidumbre combinada</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Factor de cobertura K</b>	<b>Incertidumbre expandida [±]</b>
85.5	4.4	282342.8	1.960	8.6

La parte superior registró un promedio en la humedad relativa de 85.5 %RH con una incertidumbre expandida de  $\pm 8.6$  %RH. Al igual que en la parte inferior, los valores no cambiaron drásticamente respecto al valor de referencia (ver gráfica 9). Debido a

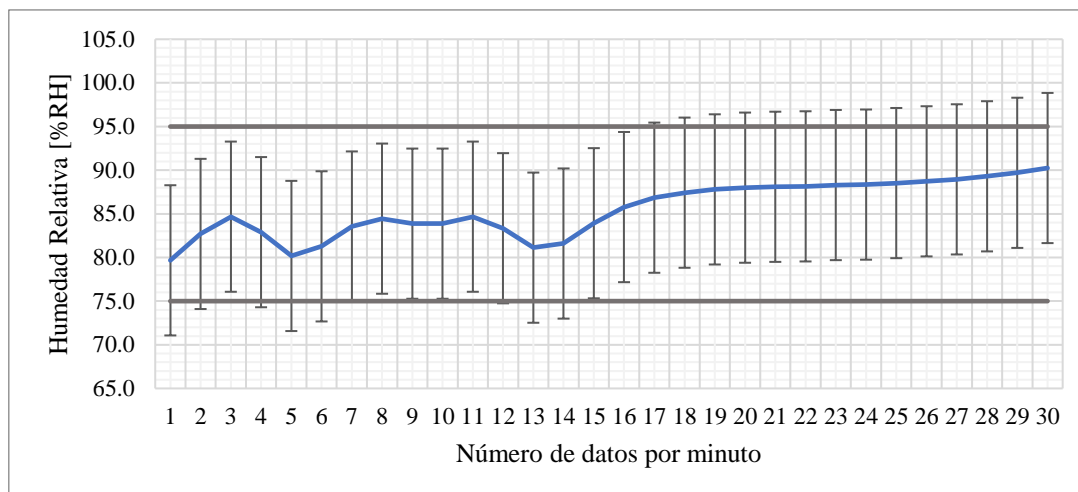
la inestabilidad evidenciada en los sectores anteriores, se estima que este caso no será la excepción, esto se corrobora en la gráfica 10.



Gráfica 9. Humedad relativa promedio de cada punto de medición en la parte superior del cuboide

Los valores de humedad relativa obtenidos en la parte superior del cuarto frío se encontraron dentro del intervalo de 85.0 %RH a 87.0 %RH. Solo una ubicación estaba dentro del intervalo de referencia (punto céntrico), dicho rango de humedad relativa fue el predominante en todas las mediciones tomadas en los diferentes sectores del cuarto frío, ya que cuatro puntos se encontraban dentro de estos valores, tres lo sobrepasaban y dos estuvieron por debajo. En todo el cuarto frío se presentó una diferencia de aproximadamente 5 %RH entre el pico máximo y mínimo en la humedad relativa, y los valores de esta se encontraban dentro del intervalo recomendable de 80 %RH y 90 %RH. Pese a lo anterior, no se evidenció estabilidad en el promedio de los datos obtenidos durante los treinta minutos de medición.





Gráfica 10. Comportamiento del promedio total de la humedad relativa en la parte superior del cuboide

Al igual que sucedió en todos los niveles de calibración, la parte superior excedió las recomendaciones para la humedad en almacenamiento refrigerado, pero a diferencia de los anteriores casos, la humedad presentó un comportamiento parcialmente estable en la segunda mitad de los datos, conducta similar a la que se presentó en el aumento de la temperatura que se refleja en la gráfica 8. Esto permite deducir que el aumento en la temperatura condujo a un leve incremento en la humedad relativa, ya que ambas variables son dependientes una de la otra.

#### 7.2.4. Corrección a la indicación

Tabla 17

*Resultados de calibración para la temperatura [°C] y humedad relativa [%RH]*

Temperatura del equipo patrón en el punto de referencia		Indicación del instrumento bajo calibración		Corrección a la indicación	
[°C]	[%RH]	[°C]	[%RH]	[°C]	[%RH]
1.8	84.1	1.8	-	0.0	-

La indicación del instrumento bajo calibración se presentó a través de un promedio en los valores de temperatura que arrojó el equipo bajo prueba durante la toma de datos, dando así un promedio de 1.8 °C (ver imágenes en Anexo D). El equipo de refrigeración no permite visualizar los valores en la humedad relativa, es por esto, que no se obtuvo una corrección a la indicación de este mensurando. La corrección a la indicación en la temperatura indicó un valor aproximado de 0.0 °C, es decir, que tanto el promedio de la temperatura en todo el cuboide, como lo arrojado por el cuarto

frío coincidieron en el instante en el que fue realizada la calibración, por ende, se tuvo que el error de corrección al visor del cuarto fue nulo.

## 8. Conclusiones

- A nivel nacional, las normativas y/o recomendaciones sobre las condiciones de almacenamiento refrigerado o congelado en los alimentos, se presentan de forma muy generalizada, mientras que, en la documentación internacional se encuentra información más específica sobre el adecuado almacenamiento de diferentes tipos de productos y sus derivados.
- El datalogger Uni-T UT330B gracias a su forma compacta, se ajustó fácilmente al soporte trípode que permitía adaptar el equipo a diferentes alturas. Además, almacenó sin interrupciones los datos necesarios para la calibración del cuarto frío.
- El procedimiento de la guía Traducción DKD-R-5-7 Calibración de Cámaras Climáticas, Bogotá 2019, permitió tener conocimiento de un adecuado posicionamiento de los equipos de medición, la metodología dependiendo de las condiciones del cuarto o las necesidades del usuario y aportes de incertidumbre, estos últimos fueron de mucha ayuda para complementar las incertidumbres que ya se tenían en conocimiento.
- Los datos exportados en la hoja de cálculo permitieron visualizar de manera inmediata, los valores estadísticos y las gráficas en cada uno de los niveles del cuarto, con el fin de realizar el respectivo análisis de calibración.
- La metodología implementada en la tienda T0460 presentó inconvenientes en el posicionamiento del equipo de medición, debido a que el cuarto de refrigeración se encontraba cargado y esto dificultó la ubicación las bases trípodes.
- Los valores de temperatura dentro del cuarto se mantuvieron estables dentro los límites recomendados para la refrigeración, garantizando que los productos que permanecían almacenados en él no vieron interrumpida su cadena de frío.
- En cuanto a la inestabilidad de la humedad relativa, por una parte, se puede concluir que el error de  $\pm 5.0\% \text{RH}$  que se presenta en el equipo de medición para humedades mayores al 80%, hace que algunos resultados de HR oscilen fuera de los límites recomendados; por otra parte se puede decir que fue debido a que el cuarto frío no presenta un control manual de la humedad relativa, haciendo que esta sea absolutamente dependiente de la temperatura.
- Los productos almacenados dentro la tienda T0460 en el cuarto de refrigeración, permanecen con temperaturas adecuadas para prolongar su vida útil y asegurar la calidad del producto hasta el consumidor final. En cuanto a la humedad relativa no se tiene certeza que este cumpla con las recomendaciones debido a su inestabilidad a lo largo de la calibración.

## 9. Referencias

- [1] Ordoñez, J.A. et al (2005). Tecnología de alimentos: componentes de alimentos y procesos. Recuperado de [http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/316/Cons\\_Alimentos.pdf?sequence=2](http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/316/Cons_Alimentos.pdf?sequence=2) p.56
- [2] Elliott, R.P y Michener, H.D. (1965). Factors Affecting the Growth of Psychrophilic Micro-organisms in Foods. p.7
- [3] Bertó Navarro, Ramón. (2015). Staphylococcus aureus en la industria alimentaria. Recuperado de <http://www.betelgeux.es/blog/2015/07/09/staphylococcus-aureus-en-la-industria-alimentaria/>
- [4] Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Botulismo. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/botulism>
- [5] OMS. (2018). Salmonella (no tifoidea). Recuperado de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-\(non-typhoidal\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-(non-typhoidal))
- [6] OMS. (2018). E. coli. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>
- [7] Soto Varela, Pérez Lavalle y Estrada Alvarado. (2016). Bacterias causantes de enfermedades transmitidas por alimentos: una mirada en Colombia. *SciELO*. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/sun/v32n1/v32n1a10.pdf>. p.107
- [8] Santos Blanco, Martha Cecilia. (2017). Enfermedades Transmitidas por Alimentos. Recuperado de <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/ETA%202017.pdf>. p.6 y 8
- [9] Instituto Nacional de la Salud (INS) y el Ministerio Nacional de la Salud. (2019). Enfermedades Transmitidas por Alimentos. Recuperado de <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/ENFERMEDAD%20TRANSMITIDA%20POR%20ALIMENTOS%20PE%20XIII%202019.pdf#search=enfermedades%20transmitidas%20por%20alimentos%202019>. p.1-2
- [10] Silva Vasconcelos, M. A y Melo Filho, A, B. (2010). Conservação de Alimentos. p.59.
- [11] López, A.F. (2003). Manual para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas Recuperado de <http://www.fao.org/3/Y4893S/y4893s06.htm#bm06>
- [12] Potter. (1986). apud Ordoñez et al (2005). Tecnología de alimentos: componentes de alimentos y procesos. Recuperado de

[http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/316/Cons\\_Alimentos.pdf?sequence=2](http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/316/Cons_Alimentos.pdf?sequence=2)  
p.60

[13] USDA. Principios básicos en la preparación de los alimentos inocuos. Recuperado de [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/rlc/come-sano/t\\_es.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/come-sano/t_es.pdf)

[14] Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución 242 de 2013. p.42

[15] Norma Técnica Sectorial Colombiana 007. (2017). Norma Sanitaria de Manipulación de Alimentos. p.22

[16] DNP (2016). Pérdida y Desperdicio de Alimentos en Colombia. p.9-10

## Anexo A – Tabla completa de las recomendaciones en almacenamiento refrigerado por la FAO para frutas y hortalizas

A fin de complementar las condiciones en refrigeración para un mayor número de frutas y hortalizas se anexa la siguiente tabla:

Tabla A

*Condiciones en almacenamiento refrigerado para frutas y hortalizas según la FAO*

<b>Producto</b>	<b>T [°C]</b>	<b>HR [%]</b>	<b>Vida útil [días]</b>
Ajo	0	65 - 70	180 - 210
Albahaca	0	85 - 95	7
Apio	0	98 - 100	30 - 90
Arveja	0	95 - 98	7 - 14
Brócoli	0	95 - 100	14 - 21
Cebolla bulbo	0	65 - 70	30 - 240
Cebollino	0	95 - 100	14 - 21
Cereza	-1 a -0.5	90 - 95	14 - 21
Ciruelas	-0.5 a 0	90-95	14 - 35
Coco	0 a 1.5	80 - 85	30 - 60
Coliflor	0	95 - 98	21 - 28
Durazno	-0.5 a 0	90 - 95	14 - 28
Espárrago	0 a 2	95 - 100	14 - 21
Espinaca	0	95 - 100	10 - 14
Frambuesa	-0.5 a 0	90 - 95	2 - 3
Higos	-0.5 a 0	85 - 90	7 - 10
Kiwi	-0.5 a 0	90 - 95	90 - 150
Lechuga	0 a 2	98 - 100	14 - 21
Mandarina	4 a 7	90 - 95	14 - 28
Manzana	-1 a 4	90 - 95	30 - 180
Mora	-0.5 a 0	90 - 95	2 - 3
Nabo	0	90 - 95	120
Naranja	0 a 9	85 - 90	56 - 84
Pera	-1.5 a 0.5	90 - 95	60 - 210
Perejil	0	95 - 100	30 - 60
Puerro	0	95 - 100	60 - 90
Remolacha s/hojas	0	98 - 100	120 - 180
Repollo	0	98 - 100	150 - 180

Tomate de árbol	3 a 4	85 - 90	21 - 28
Uva	-0.5 a 0	90 - 95	14 - 56
Yuca	0 a 5	85 - 96	30 - 60
Zanahoria s/hoja	0	98 - 100	210 - 270

## Anexo B – Ficha técnica del datalogger UNI-T UT330B

La ficha técnica permite conocer las características de manera estandarizada y sencilla del equipo, esta puede variar con el tiempo debido a calibraciones y ajustes a los que puede ser sometido. La Tabla B enseña la ficha técnica con la que el equipo viene de fábrica.

Tabla B

*Ficha técnica del equipo patrón utiliza*

<b>Serie</b>	UT330B
<b>Resistencia al agua y al polvo</b>	IP67
<b>Rango de medición</b>	<b>Temperatura:</b> -40 °C ~ 80 °C
	<b>Humedad:</b> 0 %RH ~ 100 %RH
<b>Resolución</b>	<b>Temperatura:</b> 0.1 °C
	<b>Humedad:</b> 0.1 %RH
<b>Precisión de la medición</b>	<b>Temperatura:</b> -40 °C ~ -30 °C: $\pm 2.0$ °C -30 °C ~ 0 °C: $\pm 1.0$ °C 0 °C ~ 40 °C: $\pm 0.5$ °C 40 °C ~ 70 °C: $\pm 1.0$ °C 70 °C ~ 80 °C: $\pm 2.0$ °C
	<b>Humedad:</b> 20 %RH ~ 80 %RH: $\pm 3.0$ %RH < 20 %RH o > 80 %RH: $\pm 5.0$ %RH
<b>Almacenamiento de datos</b>	0 ~ 60000

La Figura B muestra cuatro imágenes del equipo patrón utilizado para la calibración



*Figura B.* Imágenes del equipo patrón UT330B

### **Anexo C – Bases trípodes**

Las bases trípode de cámara permiten ubicar en diferentes posiciones por medio de unas varillas de aluminio como soporte de los datalogger, su fácil ubicación dentro del cuarto frío. Por base se pueden situar un máximo de tres equipos.



*Figura C.1.* Base trípode de cámara extendida a su máximo



*Figura C.2. Base trípode unido a dos varillas de aluminio*

## **Anexo D – Imágenes del cuarto frío**

### **TIENDA T0460**

#### **Productos almacenados**

Dentro del cuarto de refrigeración se almacenan diferentes tipos de productos, como algunos vegetales, lácteos, embutidos, pollo y sus partes.





Figura D.1. Algunos de los productos almacenados en el cuarto de refrigeración

### Ubicación de las bases

La ubicación de los datalogger no generó daños en los productos ni en sus empaques, tampoco interrumpió la entrada y salida de alimentos.



Figura D.2. Primera ubicación del equipo de medición



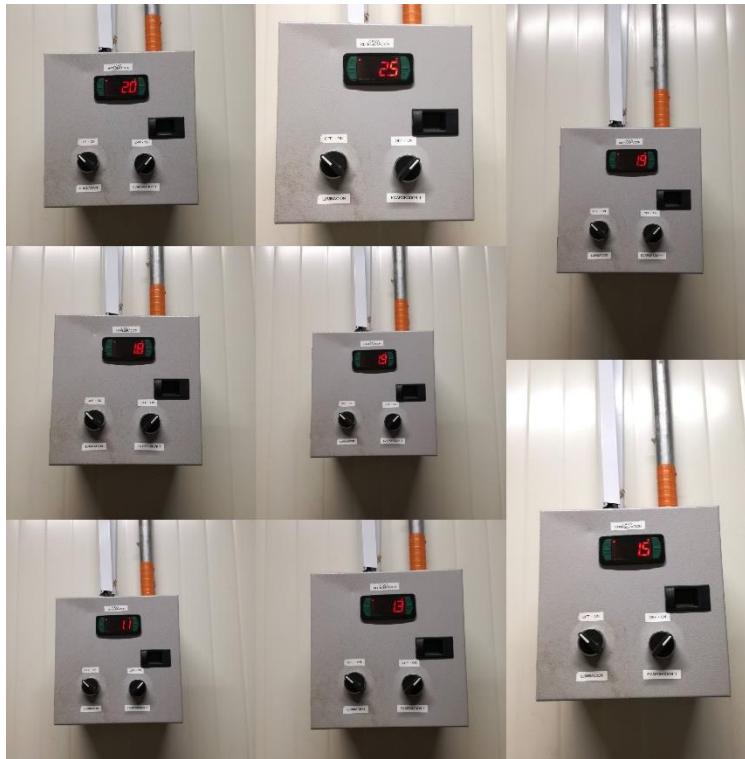
*Figura D.3. Segunda ubicación del equipo de medición*



*Figura D.4. Ubicación de referencia*

## **Visor de temperatura del cuarto**

Durante la calibración se evidencia con fotos las variaciones de temperatura en °C reflejadas por el visor. La secuencia de fotos empieza desde que se inicia el proceso de calibración y acaba con el mismo. La repetibilidad de esta es aleatoria.



*Figura D.5.* Visor de temperatura del cuarto de refrigeración durante la calibración